



Islamic Azad University , Shiraz Branch
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis



نشریه

تحلیل مدارها،

داده ها

و سامانه ها





نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها

هیات تحریریه

دانشگاه آزاد اسلامی شیراز	دکتر حامد آگاهی	مدیر مسئول
دانشگاه صنعتی شیراز	دکتر طاهر نیکنام	سر دبیر
دانشگاه آزاد اسلامی شیراز	دکتر زهرا مقصودزاده سروسستانی	مدیر داخلی

هیات تحریریه

دانشگاه صنعتی شیراز	دکتر طاهر نیکنام	استاد
دانشگاه شیراز	دکتر رحیم غیور	استاد
دانشگاه شیراز	دکتر حبیب اله عبیری	استاد
دانشگاه صنعتی خواجه نصیر	دکتر حمید خالوزاده	استاد
دانشگاه بین المللی امام خمینی	دکتر اصغر کشت کار	استاد
دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکتر محمدباقر منهج	استاد
دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات	دکتر محمد ناصر مقدسی	استاد
دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله	دکتر حسن توکلی	استاد
دانشگاه شهید بهشتی	دکتر سید ابراهیم افجه ای	استاد
دانشگاه آزاد اسلامی شیراز	دکتر حامد آگاهی	دانشیار
دانشگاه آزاد اسلامی قزوین	دکتر احمد فخاریان	دانشیار
دانشگاه آزاد اسلامی قزوین	دکتر امیرمسعود افتخاری مقدم	دانشیار
دانشگاه شهرکرد	دکتر مجید ابن علی	دانشیار
دانشگاه آزاد اسلامی شیراز	دکتر محمدصادق جوادی	دانشیار



نشریه تحلیل مدارها، داده‌ها و سامانه‌ها

سال اول - شماره سوم - پاییز ۱۴۰۲

فهرست مقالات

ردیف	عنوان مقاله / نویسندگان	صفحه
۱	تفریق‌کننده‌های تک‌بیتی تقریبی مبتنی بر تکنیک GDI با راندمان انرژی بالا و مساحت پایین برای پیاده‌سازی تقسیم‌کننده‌ها فاطمه پولادی، فرشاد پسران، نبی‌اله شیری	۱
۲	یک معماری محاسبات هوشمند در اینترنت اشیاء پزشکی جهت کاهش تاخیر سیستم نظارت مستمر بیماران کم-توان حرکتی و بیماران خاص رضا آریانا، محمدرضا مجمع، سمیه جعفرعلی جاسبی	۱۳
۳	شناسایی چهره افراد بر اساس مدل معنایی برای موبایل بانک لیلی نصرتی، امیر مسعود بیدگلی، حمید حاج سید جوادی	۲۴
۴	یک استراتژی شارژ چند هدفه تحت عدم قطعیت برای شبکه‌های حسگر قابل شارژ بی‌سیم از طریق بهینه‌سازی استقرار چند پهپاد به کمک الگوریتم فراابتکاری پیمان حبیبی، گوران حسنی‌فرد، عبدالباقی قادرزاده، آریز نصرت‌پور	۳۴
۵	یک روش مبتنی بر شبکه عصبی عمیق بهینه شده با الگوریتم هافمن و الگوریتم‌های فراابتکاری برای فشردن-سازی و بازسازی تصویر پزشکی محمد حسین خلیفه، مهدی تقی‌زاده، محمد مهدی قنبریان، جاسم جمالی	۴۸
۶	برآورد تلفیقی احتمالات تأثیر برای مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر در شبکه‌های اجتماعی و کاربرد آن در صنعت برق سهامه محمدی، محمد حسین ندیمی شهرکی، زهرا بهشتی، کامران زمانی‌فر	۶۲

تفریق‌کننده‌های تک‌بیتی تقریبی مبتنی بر تکنیک GDI با راندمان انرژی بالا و مساحت پایین برای پیاده‌سازی تقسیم‌کننده‌ها

فاطمه پولادی^۱، فرشاد پسران^{۲*}، نبی اله شیری^۳

۱- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

fatemehpoladi353@gmail.com

۲- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

farshad.pesaran@iaiu.ac.ir

۳- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

na.shiri@iaiu.ac.ir

چکیده: در مدارهای دیجیتال با ترانزیستورهای زیاد، انرژی مصرفی بالا همچنان چالش اساسی می‌باشد. تکنیک‌های نوظهور مانند محاسبات تقریبی تا حدودی به حل این چالش کمک کرده‌اند. بر این اساس، سه تفریق‌کننده جدید تک‌بیتی بر مبنای محاسبات تقریبی و تکنیک دروازه ورودی انتشار معرفی می‌شوند. مدارهای پیشنهادی ۱ تا ۳ ضمن جدول درستی متفاوت با دیگر مدارها، به ترتیب ۱۰، ۸، و ۶ ترانزیستور دارند که باعث کاهش قابل توجه توان مصرفی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی براساس تکنولوژی ترانزیستور اثر میدانی نانولوله کربنی (CNTFET) با طول کانال ۳۲ نانومتر، برتری این مدارها را تایید می‌کند. مدار پیشنهادی ۳ بدون استفاده از اینورتر، دارای بهترین عملکرد از نظر مداری می‌باشد. هر چند به دلیل وجود ۴ خطا در این مدار، نرخ خطای آن در مقایسه با دیگر مدارها بیشتر می‌باشد. بررسی اثرات تغییرات در منبع ولتاژ، fan-out و تغییرات فرایند-ولتاژ-دما گویای برتری مدار پیشنهادی ۳ از نظر انرژی تلفاتی می‌باشد. همچنین، با تعبیه مدارهای پیشنهادی در ساختار تقسیم‌کننده ۸ بیتی، برتری مدار پیشنهادی ۳ از نظر معیارهای شایستگی مختلف به مقدار حداقل ۵۰٪ قابل مشاهده است.

واژه‌های کلیدی: تفریق‌کننده، تقسیم‌کننده، محاسبات تقریبی، نانولوله کربنی

Highly Energy-Efficient and Small-Area Single-Bit Approximate GDI-Based Subtractor for Dividers' Implementation

Fatemeh Pooladi¹, Farshad Pesaran^{2*}, Nabiollah Shiri³

fatemehpoladi353@gmail.com

¹Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

farshad.pesaran@iaiu.ac.ir

²Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

na.shiri@iaiu.ac.ir

³Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Abstract:

In digital circuits that have a high number of transistors, energy dissipation is still a challenge. New techniques like approximate computing are somehow helpful for challenge solving. Therefore, three new single-bit subtractors are presented based on the approximate computing and gate diffusion input (GDI) technique. Compared to the literature, proposed circuits 1-3 with different truth tables have 10, 8, and 6 transistors, respectively, which causes a significant reduction in power consumption. The simulation results based on the carbon nanotube field effect transistor (CNTFET) technology with a channel length of 32 nm confirmed the superiority of the circuits. The proposed circuit 3 with no inverter has the best circuitry performance. However, due to the presence of 4 errors in this circuit, its error rate is higher compared to other circuits. Examining the effects of changes in the voltage source, the fan-outs, and the process-voltage-temperature (PVT) variations showed a superior energy performance of the proposed circuit 3. Also, by embedding the proposed circuits in the 8-bit divider structure, the superiority of the proposed circuit 3 in terms of various figures of merits was observable by at least 50%.



Keywords: Subtractor, divider, approximate calculations, carbon nanotube.

DOI:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله ۱۴۰۲/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۴

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۱۳

۱ - مقدمه

ترکیبی آنها برای انجام کارهای پیچیده نهفته است، جایی که تفریق، اغلب یک مرحله اساسی در فرآیند تقسیم است. در حوزه پردازش تصویر، مدارهای حسابی، از جمله تفریق کننده‌ها و تقسیم کننده‌ها، ابزار ارزشمندی برای کارهایی مانند تشخیص تفاوت و بهبود تصویر هستند. تفریق کننده‌ها برای محاسبه تفاوت پیکسل به پیکسل بین دو تصویر یا فریم استفاده می‌شوند که امکان تشخیص تغییرات، حرکات یا ناهنجاری‌ها در نظارت تصویری، ردیابی اشیاء و تصویربرداری پزشکی را فراهم می‌کنند. مدارهای کنونی در این رابطه دارای مصرف انرژی بالایی می‌باشند، هرچند که از پیشرفت‌های گفته شده بهره می‌برند اما باز هم این چالش برای محققان وجود دارد. بنابراین، می‌توان برای غلبه بر این مشکلات به استفاده از مکانیزم‌های طراحی مختلف روی آورد که در این مورد دو راهکار اساسی می‌تواند استفاده از تکنیک طراحی ترانزیستوری مانند دروازه ورودی انتشار^{۱۱} (GDI) [۷] و روش طراحی مانند محاسبات تقریبی^{۱۱} (AC) [۸] برای دستیابی به مصالحه‌های^{۱۲} مطلوب باشند.

محاسبات تقریبی به یک روش محاسباتی اشاره دارد که سرعت و کارایی را بر دقت در برنامه‌های خاص^{۱۳} اولویت می‌دهد. در مدارهای محاسباتی مبتنی بر محاسبات تقریبی، تاکید بر انجام محاسبات با درجه-ای از عدم دقت یا تقریب برای دستیابی به نتایج سریعتر یا کاهش مصرف انرژی است. این رویکرد به‌ویژه در روش‌هایی که دقت بالایی ضروری نیست، مرتبط است و درجاتی از خطا یا عدم دقت را می‌توان بدون عواقب قابل توجهی تحمل کرد. هدف مدارهای محاسباتی مبتنی بر محاسبات تقریبی ایجاد تعادل بین دقت محاسباتی و کارایی منابع است [۹]. مصالحه‌های معمول مرتبط با مدارهای محاسباتی مبتنی بر محاسبات تقریبی عبارت از کاهش دقت به‌ازای بهبود سرعت، و توان مصرفی^{۱۴} است. هم‌چنین، مدارهای تقریبی اغلب به‌منابع کمتری از نقطه‌نظر سخت‌افزاری نیاز دارند و می‌توانند منجر به صرفه‌جویی در هزینه در طراحی و ساخت شود. مدارهای محاسباتی مبتنی بر محاسبات تقریبی به دلایل مختلفی برای کاربردهای مقاوم در برابر خطا مناسب می‌باشند. برخی از برنامه‌ها، مانند پردازش چندرسانه‌ای^{۱۵} و فشرده‌سازی تصویر و صدا، می‌توانند سطح مشخصی از خطا را بدون تأثیر قابل توجهی بر کیفیت یا سودمندی نتیجه نهایی تحمل کنند. در چنین مواردی،

در طول دهه‌های گذشته، مدارهای دیجیتال شاهد پیشرفت‌های قابل توجهی بوده‌اند که چشم‌انداز الکترونیک و محاسبات را تغییر داده‌اند. یکی از مهم‌ترین گام‌ها در کوچک‌سازی ترانزیستورها^۱ کاهش طول کانال^۲ بوده است. قانون مور^۳ که پیش‌بینی می‌کرد تعداد ترانزیستورهای روی یک ریزتراشه تقریباً هر دو سال دوبرابر می‌شود، البته با برخی چالش‌ها هم‌چنان صادق است. با کاهش طول کانال، ترانزیستورها کوچک‌تر شده و انرژی کارآمدتر شده‌است که به بهبود مصرف انرژی در دستگاه‌های الکترونیکی کمک می‌کند [۱]. این کاهش اندازه ترانزیستور راه را برای مدارهای دیجیتال کارآمدتر هموار کرده است. ترانزیستورهای کوچک‌تر به معنای انرژی کمتر برای روشن و خاموش کردن آنها است که منجر به کاهش مصرف انرژی در مدارهای مجتمع می‌شود. این امر به ویژه در دنیایی که به‌طور فزاینده‌ای به هم متصل می‌شوند، که در آن دستگاه‌های قابل حمل به عمر باتری طولانی‌تری و مراکز داده به سرورهای با انرژی کارآمدتری برای مدیریت حجم روبه‌رشد داده‌ها نیاز دارند، بسیار مهم است. پیگیری بی‌وقفه کوچک‌سازی به مدارهای دیجیتالی این امکان را داده است که به‌ستون فقرات فناوری مدرن تبدیل شوند و همه‌چیز از تلفن‌های هوشمند گرفته تا ابررایانه‌ها را تأمین کنند و در عین حال بهره‌وری انرژی را حفظ یا حتی بهبود بخشند [۴-۲]. فراتر از قانون مور و مقیاس‌بندی ترانزیستور، فناوری‌های جدیدی برای افزایش کارایی مدارهای دیجیتال در مقایسه با فناوری‌های مرسوم، یعنی MOSFETs^۴ پدید آمده‌اند [۵]. نوآوری‌هایی مانند CNTFET^۵ و مواد پیشرفته نقشی اساسی در کاهش جریان‌های نشتی^۶ و افزایش عملکرد کلی ایفا کرده‌اند [۶]. این پیشرفت‌ها نه تنها قدرت پردازش را بهبود بخشیده است، بلکه در کاربردهایی مانند پردازش تصویر و پردازش-سیگنال نیز مفید بوده است.

مدارهای محاسباتی^۷، به‌ویژه تفریق کننده‌ها و تقسیم کننده‌ها، به دلیل توانایی آن‌ها در انجام کارآمد عملیات‌های ریاضی، نقش مهمی در زمینه‌های مختلف بازی می‌کنند. تفریق کننده‌ها^۸ برای محاسبه تفاوت بین دو عدد ضروری هستند، درحالی که تقسیم کننده‌ها^۹ برای انجام عملیات تقسیم استفاده می‌شوند که کاربردهای گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف دارند. رابطه بین تفریق کننده‌ها و تقسیم کننده‌ها در توانایی

⁹ Dividers¹⁰ Gate Diffusion Input (GDI)¹¹ Approximate computing (AC)¹² Trade-offs¹³ Specific applications¹⁴ Power consumption¹⁵ Multimedia¹ Scaling² Channel length³ Moore Law⁴ metal-oxide-semiconductor field-effect transistor⁵ Carbon nanotube field-effect transistor (CNTFET)⁶ Leakage current⁷ Arithmetic circuits⁸ Subtractors

با نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌دهد. در نهایت، مقاله در بخش ۴ نتیجه‌گیری می‌شود.

۲- مدارهای پیشنهادی براساس GDI

سلول تفریق‌کننده یک مدار منطقی دیجیتالی است که برای انجام عملیات تفریق بین دو عدد باینری طراحی می‌شود. از نظر ورودی و خروجی، یک سلول تفریق‌کننده معمولاً دو ورودی اصلی دارد، دو ورودی X و Y به‌عنوان ورودی‌های اصلی مدار و B_{in} به‌عنوان رقم نقلی ورودی که دو خروجی تفاوت^۲ و قرض^۳ که به ترتیب برابر با حاصل تفاضل و خروجی قرض می‌باشند. وظیفه اصلی سلول تفریق‌کننده این است که خروجی تفریق صحیح را ایجاد کند در حالی که به‌طور مناسب شرایط قرضی را که ممکن است در طول فرآیند تفریق ایجاد شود، مدیریت کند. تاکنون مدارهای متعددی در زمینه طراحی مدارهای تفریق‌کننده تقریبی ارائه شده‌اند که جدول (۱) روابط بولن آنها را نمایش می‌دهد.

براین اساس می‌توان مشاهده کرد که هر کدام از این مدارها دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشند. به‌طور مثال در برخی از آنها خروجی تفاوت برابر با دیگر خروجی موجود می‌باشد. می‌توان دریافت که آزادی عمل در طراحی مدارهای تقریبی زیاد است. با این حال، بایستی جدول درستی هر کدام از این مدارها را نمایش داد تا به‌نحوه تولید خروجی در آنها دست پیدا کرد. براین اساس ابتدا مدارهای پیشنهادی معرفی می‌شوند. در این قسمت بلاک‌دیاگرام مدارهای پیشنهادی در شکل (۱) نمایش داده شده است. مدار پیشنهادی ۱ در شکل (۱-الف) نمایش داده شده است. همان‌گونه که از ساختار گیتی آن مشخص است این مدار

جدول (۱). مقایسه تفریق‌کننده‌های تقریبی

Name	Difference (D)	Borrow (B_{out})
AXSC1 [11]	$(X \oplus Y) \oplus B_{in}$	$(X \oplus Y).B_{in} + \bar{X}Y$
AXSC2 [11]	$X \oplus Y \oplus B_{in}$	$D \text{ or } B_{out}$
AXSC3 [11]	B_{out}	$(X \oplus Y).B_{in} + \bar{X}Y$
AXS1 [12]	$\bar{B}_{in}(X+Y) + XY$	Y
AXS2 [12]	$B_{in}(X+\bar{Y}) + X\bar{Y}$	B_{in}
AXS3 [12]	$B_{in}(X+Y) + XY$	\bar{X}
Apps [13]	$X \oplus Y$	$B_{in}(\bar{X} \oplus \bar{Y}) + Y(X \oplus Y)$
SAPSC1[14]	$B_{out} + X\bar{Y}\bar{B}_{in}$	$\bar{X}(Y + B_{in}) + YB_{in}$
SAPSC2[14]	B_{out}	$\bar{X}(Y + B_{in}) + YB_{in}$
SAPSC3[14]	B_{out}	$\bar{X} + YB_{in}$
SAPSC4[14]	$X + (Y \oplus B_{in})$	Y
SAPSC5[14]	$\bar{X} + YB_{in}$	Y
SAPSC6[14]	$\bar{X} + Y$	Y

محاسبات تقریبی می‌تواند سرعت و کارایی را بدون به‌خطر انداختن عملکرد کلی برنامه ارائه دهد.

تکنیک GDI یک روش طراحی مدار دیجیتال تخصصی است که قابلیت‌های منحصر به‌فردی را در ساده‌سازی و بهینه‌سازی توابع منطقی ارائه می‌دهد. در GDI، یک مدار با استفاده از حداقل مجموعه‌ای از گیت‌ها ساخته می‌شود و اساساً مبتنی بر مفهوم انتشار سیگنال از طریق شبکه‌ای از ترانزیستورها است. قابلیت‌های اصلی GDI به شرح زیر است: GDI می‌تواند تعداد ترانزیستورها را کاهش دهد زیرا تنها به دو ترانزیستور برای گیت‌های منطقی مختلف نیاز دارد که می‌تواند منجر به بهبود بهره‌وری انرژی، سرعت بالاتر و قابلیت سفارشی‌سازی شود [۱۰]. این قابلیت‌های ذاتی تکنیک GDI، آن را به‌ویژه برای طراحی مدارهای محاسباتی مبتنی بر محاسبات تقریبی از چندین جهت مناسب می‌سازد، اما مهم‌تر از همه زمانی که مفاهیم محاسباتی تقریبی و فناوری نوظهوری مانند CNTFET ادغام می‌شوند این بهره‌وری افزایش چشم‌گیری خواهد داشت [۱۰].

در این مورد، سهم این مقاله، معرفی سه مدار تفریق‌کننده جدید با اتکا به تکنیک GDI است. این مدارها نه تنها با مصرف بسیار کم مساحت-شان معرفی می‌شوند، بلکه معادلات بولی^۱ متمایز را در مقایسه با طرح‌های پیشرفته نشان می‌دهند؛ که نشان‌دهنده مشارکت منحصر به‌فرد آنها در مدارهای دیجیتال است. این مدارها که با تمرکز خاص بر روی ادغام در سیستم‌های محاسباتی تقریبی طراحی شده‌اند، با دقت ایجاد شده‌اند تا ضمن بهینه‌سازی عملکرد، از نرخ پایین خطا اطمینان حاصل کنند. علاوه بر این، این طرح‌های نوآورانه با تکنولوژی CNTFET مبتنی بر طول کانال ۳۲ نانومتری ادغام شده‌اند و کارایی انرژی و عملکرد کلی آنها را افزایش می‌دهند. دو مورد از مدارهای پیشنهادی که به‌عنوان مدار پیشنهادی ۱ و مدار پیشنهادی ۲ نامیده می‌شوند، به ترتیب با ۴ و ۳ خطای ذاتی طراحی شده‌اند، در همین حال، مدار سوم، که به‌عنوان مدار پیشنهادی ۳ و ادغامی از دو مدار قبل می‌باشد چهار خطای عمدی را شامل می‌شود که عملکرد محاسباتی آن را بیشتر افزایش می‌دهد. به‌عنوان بخشی از ارزیابی دقیق، این مدارهای جدید تحت تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای گسترده در برابر طرح‌های مرجع موجود [۱۰-۱۳] قرار می‌گیرند که اکثراً بر اساس تکنیک CMOS طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند و از معایبی هم‌چون سطح مصرفی بالا، توان تلفاتی زیاد و سرعت پایین رنج می‌برند، که امکان ارزیابی جامع از نظر کارایی، تحمل خطا، و تناسب کلی آنها را برای حوزه رو به رشد محاسبات تقریبی فراهم می‌کند.

بخش‌بندی این مقاله به شرح زیر تنظیم شده است. در بخش ۲، سلول‌های پیشنهادی معرفی می‌شوند. هم‌چنین در این بخش به معرفی ساختارهای مختلف تقسیم‌کننده مورد نظر برای تعبیه مدارهای پیشنهادی در آنها پرداخته می‌شود. بخش ۳ اطلاعات کامل را در رابطه

³ Borrow

¹ Boolean equations

² Difference

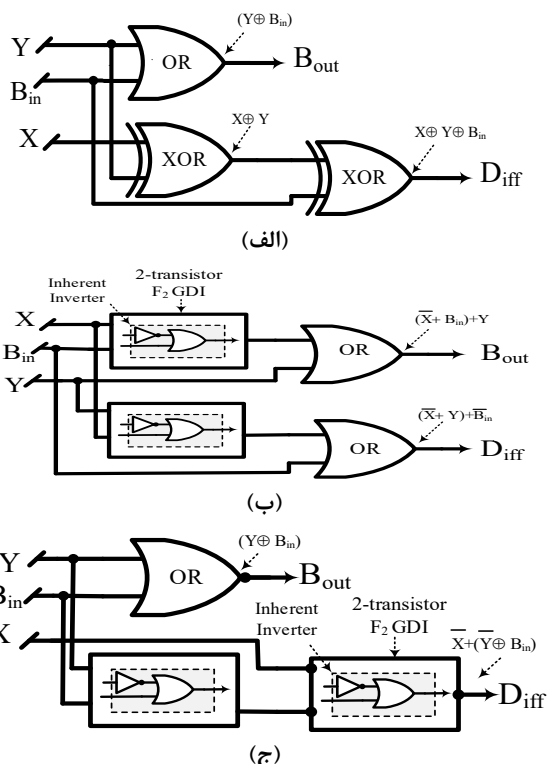


$$\text{Proposed - 2} = \begin{cases} D_{\text{diff}} = (X + \bar{Y}) + B_{\text{in}} \\ B_{\text{out}} = (\bar{X} + B_{\text{in}}) + Y \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{Proposed - 3} = \begin{cases} D_{\text{diff}} = (\bar{X} + B_{\text{in}}) + \bar{Y} \\ B_{\text{out}} = Y + B_{\text{in}} \end{cases} \quad (3)$$

شکل (۲) شماتیک ترانزیستوری سه مدار پیشنهادی را نشان می دهد که به ترتیب مربوط به مدار ۱ تا ۳ می باشند. با توجه به شماتیک ترانزیستوری این سه مدار می توان مهمترین مزایای آنها را به تعداد کم ترانزیستور در آنها نسبت داد. این ویژگی منجر به کاهش تعداد گره های داخلی این مدارها می شود که به طور قابل توجهی بر روی مجموع خازن های داخلی و خارجی و بار تاثیر گذار است. در مجموع این خاصیت منجر به کاهش توان مصرفی و انرژی تلفاتی در آنها می شود. هم چنین، یکی دیگر از ویژگی های مهم مدارهای پیشنهادی ۲ و ۳ می توان به عدم استفاده از اینورتر در آنها اشاره کرد. به همین دلیل می توان انتظار داشت که توان نشتی، دینامیکی و استاتیکی بسیار پایینی در این دو مدار مشاهده شود. دلیل این اتفاق می تواند عدم وجود مسیر مستقیم از منبع ولتاژ به زمین ذکر شود.

پس از بررسی شماتیک مدارهای پیشنهادی به مقایسه مدارها از نظر تولید خطا و جدول درستی با دیگر مدارها پرداخته می شود. برای این اساس جدول (۲) تهیه شده است. همان گونه که قابل مشاهده است، اکثر مدارهای رفرنس یا به اندازه برابر یا کمتر از مدارهای پیشنهادی در ساختار خود خطا دارند بنابراین از دقت بالاتری برخوردار خواهند بود.



شکل (۱). بلاک دیاگرام گیتی مدارهای پیشنهادی

(الف) مدار پیشنهادی ۲ (ب) مدار پیشنهادی ۳ (ج) مدار پیشنهادی ۱

دارای ۳ گیت است که گیت OR برای تولید خروجی B_{out} و دو گیت XOR برای تولید D استفاده شده است. بنابراین رابطه بولن این مدار برابر با (۱) است. در این مدار خروجی B_{out} با جمع دو ورودی Y و B_{in} بدست می آید که منجر به تولید ۴ خطا از هشت حالت در این خروجی می شود. این خطاها زمانی اتفاق می افتد که ورودی ها در حالت های $XYB_{\text{in}}=011$, $XYB_{\text{in}}=100$, $XYB_{\text{in}}=101$ و $XYB_{\text{in}}=110$ می باشند. به دلیل استفاده از یک ساختار مرسوم در تولید خروجی D ، یعنی استفاده از دو گیت XOR به صورت زنجیره ای، ۲ خطا در این خروجی وجود دارد. دلیل اصلی در نظرگیری خروجی D با تعداد خطای کم اهمیت این خروجی در تولید سیگنال های بارزترین بیت^۱ (MSB) و کم- ارزش ترین بیت^۲ (LSB) می باشد. خروجی B_{out} به عنوان یک خروجی متصل به گیت های بعدی در ساختارهای زنجیره ای از اهمیت کمتری از نظر دقت برخوردار است. یکی از مهم ترین معایب این مدار می تواند استفاده از گیت XOR مبتنی بر تکنیک GDI باشد زیرا این گیت به ۴ ترانزیستور نیاز دارد. بنابراین تعداد ترانزیستورهای این مدار برابر با ۱۰ عدد است. در مقابل شکل (۱-ب)، مدار پیشنهادی ۲ را نمایش می دهد که در ساختار آن از دو گیت OR در طبقه نهایی مدار برای تولید خروجی ها، و دو گیت F2-GDI در طبقه ابتدایی مدار استفاده شده است. گیت F2 یکی از ویژگی های مهم تکنیک GDI می باشد که به نوعی یک گیت OR محسوب می شود با این تفاوت که در این حالت یکی از ورودی ها به طور داخلی و ذاتی معکوس سازی می شود. این ویژگی نیاز به استفاده از اینورتر را از بین می برد (بر خلاف مدار شماره ۱ که به دلیل استفاده از XOR دو اینورتر در ورودی های خود نیاز داشت). بنابراین، تعداد ترانزیستور در مدار شماره ۲ کاهش می یابد و به عدد ۸ می رسد. رابطه بولن این مدار برابر با (۲) است. در این حالت در تولید خروجی D ورودی معکوس شده Y ، و برای خروجی B_{out} ورودی معکوس شده X است. با این تفاسیر، این مدار دارای سه خطا در خروجی خود است. هر دو خروجی دارای خطا هستند، اما این خطاها در الگوی ورودی همانند اتفاق می افتد. در این مدار زمانی که $XYB_{\text{in}}=000$ ، $XYB_{\text{in}}=101$ و $XYB_{\text{in}}=110$ می باشند خطا حاصل می شود. در نهایت، با استفاده از یک ترکیب قابل توجه از مدار شکل (۱-الف)، و بهره گیری از ویژگی های گیت F2، مدار پیشنهادی ۳ مطابق با شکل (۱-ج) ارائه و پیشنهاد شده است. خروجی B_{out} در این مدار برابر با خروجی B_{out} مدار شماره ۱ است. در مقابل خروجی D در این مدار با تعویض دو گیت XOR سری شده در مدار ۱ با دو گیت F2 سری تولید می شود. این مدار دارای پیچیدگی کمتری نسبت به دو مدار قبل دارد بنابراین، از ۶ ترانزیستور در بدنه خود بدون استفاده از اینورتر بهره می برد. رابطه بولن این مدار برابر با (۳) است که دارای ۴ خطا در جدول درستی خود زمانی که ورودی $XYB_{\text{in}}=000$ ، $XYB_{\text{in}}=011$ ، $XYB_{\text{in}}=101$ و $XYB_{\text{in}}=110$ است.

$$\text{Proposed - 1} = \begin{cases} D_{\text{diff}} = X \oplus Y \oplus B_{\text{in}} \\ B_{\text{out}} = Y + B_{\text{in}} \end{cases} \quad (1)$$

² Least Significant Bit (LSB)

¹ Most Significant Bit (MSB)



اما این دقت بالاتر در این مدارها، منجر به افزایش سطح مصرفی در آنها در مقایسه با مدارهای پیشنهادی می‌شود. از این رو، می‌توان گفت مدارهای پیشنهادی براساس مصالحه از دست دادن دقت به‌زای کاهش سطح مصرفی و انرژی تلفاتی طراحی شده‌اند و می‌توان در کاربردهای مختلف از آنها استفاده کرد. به‌طور کلی، مدارهای تقریبی محاسباتی با مقدار ۵۰٪ خطا باز هم این قابلیت را دارند تا در ساختارهای مختلف مانند پردازش تصاویر دیجیتال مورد استفاده قرار گیرند. به‌منظور بررسی نرخ خطا می‌توان از روابط مرسوم معرفی شده (۴) تا (۶) استفاده کرد که به‌ترتیب برابر با نرخ خطا^۱، میانگین فاصله خطای نرمال شده^۲ و میانگین فاصله خطای نسبی^۳ می‌باشند [۱۶-۱۵].

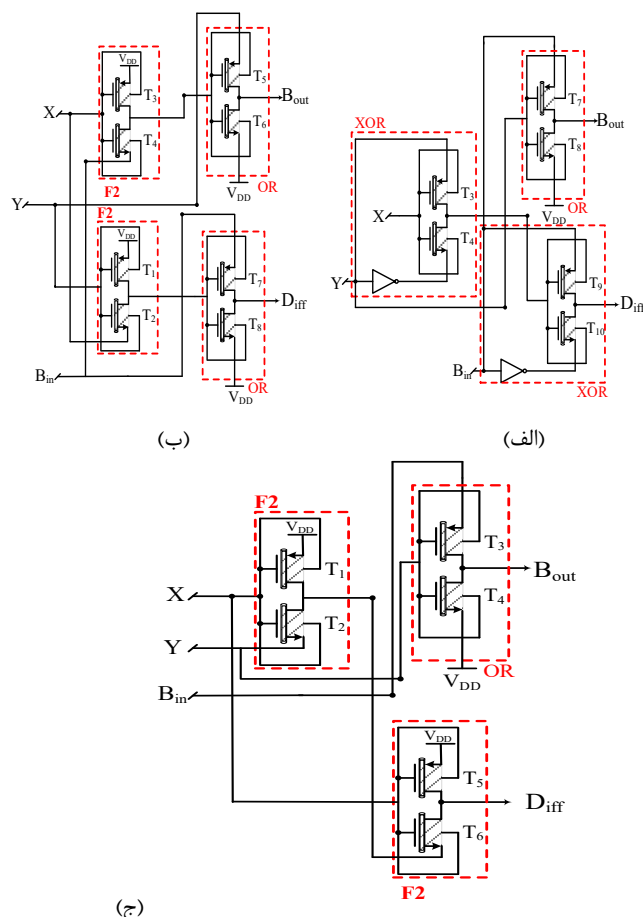
$$ER = \frac{\text{Number of Erroneous Outputs}}{n} \quad (۴)$$

$$NMED = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Exact Output_i - Approximate Output_i|}{Exact Output_{max}} \quad (۵)$$

$$MRED = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Exact Output_i - Approximate Output_i|}{Exact Output_i} \quad (۶)$$

که در آن n تعداد حالت‌های جدول درستی مدار است. همچنین، حداکثر خروجی دقیق، بزرگترین عدد صحیح تولید شده توسط هر مدار است. در بین این پارامترها مهم‌ترین پارامتر NMED است که می‌تواند عملکرد مدار را به خوبی نشان دهد.

در ادامه به درک عملی تفریق‌کننده‌های تقریبی در یک تقسیم‌کننده بدون علامت ۸ تا ۴ می‌پردازیم. تقسیم‌کننده انتخاب‌شده برای این برنامه، یک مدار است که برای انجام تقسیم عدد صحیح بدون علامت در محدوده $X [7:0]$ ، $Y [3:0]$ ، $Q [3:0]$ و $R [3:0]$ طراحی شده است [۶].



شکل (۲). شماتیک ترانزیستوری مدارهای پیشنهادی

(الف) مدار پیشنهادی (ب) مدار پیشنهادی (ج) مدار پیشنهادی ۳

جدول (۲). جدول درستی مدارهای پیشنهادی در مقایسه با دیگر مدارها

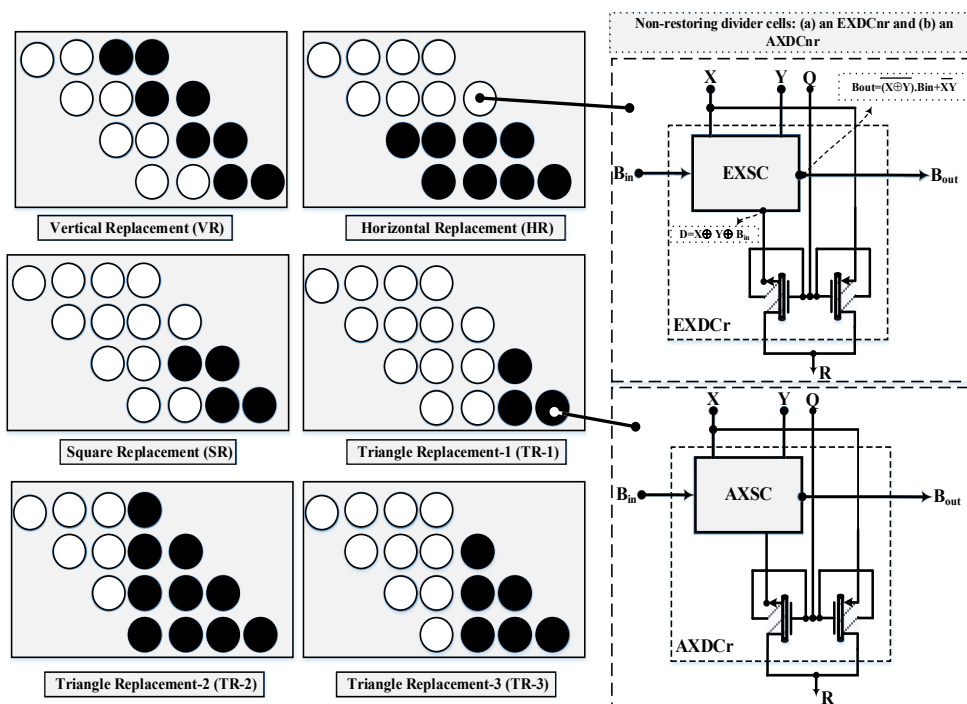
	EXACT	AXSC1	AXSC2	AXSC3	ICS1	ICS2	ICS3	Apps	AXS1	AXS2	AXS3	SAPSC3	SAPSC4	Proposed 1	Proposed 2	Proposed 3
XYB _{in}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}	B _{out} D _{diff}
000	00	00	00	00	11	00	00	00	00	00	11	11	00	00	11	01
001	11	11	11	11	11	11	11	10	00	11	11	11	01	11	11	11
010	11	11	11	11	11	11	11	11	11	00	11	11	11	11	11	11
011	10	11	00	11	10	10	10	11	10	10	10	11	10	11	10	11
100	01	01	11	00	01	01	01	01	01	01	01	00	01	00	01	01
101	00	01	00	00	00	01	11	01	00	11	00	00	01	10	11	11
110	00	00	00	00	00	11	00	00	11	00	00	00	11	10	11	10
111	11	11	11	11	11	11	11	10	11	11	00	11	11	11	11	11
ER	----	0.25	0.25	0.25	.125	.125	.125	0.5	0.25	0.25	0.25	0.375	0.375	0.375	0.375	0.5
NMED	----	0.0833	0.0833	0.0833	0.0416	0.0416	0.0416	0.1666	0.0833	0.0833	0.0833	0.125	0.125	0.125	0.125	0.166
MRED	----	0.1875	0.375	0.1875	0.375	0.375	0.375	0.2708	0.25	0.25	0.25	0.3125	0.3333	0.4375	0.375	0.4375

³ Mean Relative Error Distance (MRED)

¹ Error rate (ER)

² Normalized Mean Error Distance (NMED)





شکل (۳). ساختارهای تقسیم کننده مورد استفاده

است و تاخیر ورودی‌ها تا خروجی‌ها را برای تمامی مسیرها گزارش می‌کند. در نهایت بدترین مقدار تاخیر به‌عنوان تاخیر بحرانی مدار گزارش شده است. همان‌گونه که گفته شد انرژی مصرفی مدارهای پیشنهادی و دیگر مدارها براساس حاصل ضرب توان در تاخیر محاسبه شده است. یکی از مهم‌ترین پارامترهای مدارهای تقریبی سطح مصرفی آنهاست. از این رو یک معیار شایستگی دیگر برابر با رابطه زیر استفاده شده است.

$$PDP - Area - product = PDAP \quad (7)$$

$$= PDP \times \text{Number of Transistors}$$

شبیه‌سازی‌های گسترده‌ای در این مقاله انجام شده است تا بتوان به بررسی دقیق‌تر عملکرد مدارهای پیشنهادی و دیگر مدارها دست پیدا کرد. در این بین، تغییرات منبع تغذیه (V_{DD}) به دلایل مختلف در مدارهای تقریبی دیجیتال یک ملاحظه حیاتی است. از جمله تاثیرات و بررسی‌هایی که در این زمینه بایستی صورت گیرد تأثیر آن بر دقت تولید سیگنال‌های خروجی تحت مقادیر مختلف ولتاژ می‌باشد تا به برآوردی دقیق از بهره‌وری انرژی^۲، تاخیر و عملکرد^۴ و استحکام و قابلیت اطمینان^۵ این مدارها دست پیدا کرد. بر این اساس، مطابق با جدول (۳) و نتایج به دست آمده می‌توان مشاهده کرده که کمترین توان مصرفی به‌ازای سه مقدار ولتاژ در نظر گرفته شده متعلق به مدار پیشنهادی ۳ می‌باشد. این نتایج در حالی می‌باشد که اختلاف مدار پیشنهادی ۳ از نظر توان مصرفی با دیگر مدارها مقدار قابل توجهی می‌باشد. به‌طور مثال، اختلاف مدار پیشنهادی ۳ با AXSC2 از نظر توان مصرفی در 0.6V ولت برابر با 74.5% می‌باشد. هرچند که دو مدار پیشنهادی دیگر در مقایسه با مدار پیشنهادی ۳ از نظر توان در شرایط مطلوبی قرار ندارند.

ساختار به‌کار گرفته شده در اینجا مطابق با شکل (۳) است، که در آن از گیت‌های منطقی مختلف، از جمله سلول تقسیم‌کننده دقیق بازیابی و F2-GDI استفاده شده است. دو مورد اصلی این ساختار را از نمونه‌های قبلی متمایز می‌کند: استفاده از تکنیک ورودی انتشار دروازه و جایگزینی CMOS-NOR با گیت F2-GDI. گیت F2-GDI به دلیل ظرفیت آن در حذف تعداد قابل توجهی از اینورترها با استفاده از ویژگی‌های ذاتی اینورترهای داخلی آن قابل توجه است. علاوه بر این، برای پیاده‌سازی تقسیم‌کننده تقریبی، از یک روش نمودار چهارنقطه‌ای استفاده می‌کنیم، که شامل جایگزینی عمودی، جایگزینی افقی، جایگزینی مربع و جایگزینی‌های مثلث است. به‌جای نقاط سیاه معمولی، از سلول‌های AXDCR متشکل از تفریق‌کننده‌های تقریبی استفاده می‌کنیم. این انتخاب باهدف بهینه‌سازی عملکرد مدارهای پیشنهادی انجام شده است.

۳- شرایط و نتایج شبیه‌سازی

به‌منظور انجام شبیه‌سازی‌ها، در این مقاله از تکنولوژی CNTFET با طول کانال ۳۲ نانومتری و نرم‌افزار HSPICE استفاده شده است. همچنین، مقادیر پارامترهای مداری مانند توان مصرفی، تاخیر و انرژی مصرفی، یعنی حاصل ضرب توان در تاخیر^۱، محاسبه و گزارش شده است. به‌منظور محاسبه توان مصرفی، کدهای HSPICE مورد استفاده قرار گرفته است [۱۷]، که توان مصرفی میانگین، توان پویا^۲، را در یک دوره تناوب نشان می‌دهد. همچنین، به‌منظور محاسبه تاخیر تمامی حالت‌های ممکن مطابق با جدول درستی به مدارهای پیشنهادی اعمال شده

⁴ Timing and Performance

⁵ Robustness and Reliability

¹ Power delay product (PDP)

² Dynamic Power

³ Energy Efficiency



با این حال، از نظر PDP در ولتاژ پایین 0.6V این مدار شماره ۲ می‌باشد که بهترین مقدار را دارد. بنابراین می‌توان مدار شماره ۲ را گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای با ولتاژ پایین مناسب در نظر گرفت. به‌ازای ولتاژهای 0.9V و 1.2V بهترین مقدار توان و متعاقباً PDP متعلق به مدار شماره ۳ می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده می‌توان دریافت که مدار شماره ۳ دارای بهترین عملکرد نسبت به تغییرات ولتاژ را به خود اختصاص داده است و می‌تواند در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی اثر تغییرات ولتاژ به‌تنهایی نمی‌تواند گزینه‌ای جامع برای بررسی مدارها در نظر گرفته شود. از این رو، یکی دیگر از موضوعات بسیار مهم در بررسی مدارهای دیجیتال، بررسی پارامترهای فرآیند ولتاژ-دما^۱ به‌طور هم‌زمان است. بدین منظور، از روش مونت کارلو به‌منظور بررسی دقیق این پارامترها استفاده شده است. تعداد تکرار^۲ شبیه‌سازی در این بررسی برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. همچنین، برای پارامتر فرآیند مقادیر تعداد تیوپ با بازه 20 ± 10 ، پیچ^۳ (فاصله بین تیوپ‌ها) برابر با $16\text{nm} \pm 12\text{nm}$ ، در نظر گرفته شده است. برای ولتاژ و دما نیز به‌ترتیب بازه‌های $1.2\text{V} \pm 0.4\text{V}$ و $50^\circ\text{C} \pm 50^\circ$ در این شبیه‌سازی اعمال شده است. در نهایت، مقادیر حداقل^۴، حداکثر^۵ و میانگین^۶ پارامترهای توان، بدترین تاخیر و PDP استخراج شده و در شکل (۴) به نمایش در آمده است. مطابق با شکل (۴-الف) مدار پیشنهادی ۳ با کمترین مقدار از نظر حداقل، حداکثر و میانگین، دارای بهترین عملکرد در مقایسه با- دیگر مدارها است. از نظر توان مصرفی، مدار AXSC2 نزدیکترین رقیب مدار به مدار پیشنهادی ۳ است. به‌ازای مقدار حداکثر که حائز اهمیت-ترین است، مدار پیشنهادی ۳ از نظر توان مصرفی دارای 66% عملکرد بهتری دارد. در مقابل، به‌دلیل بهره‌وری که از نظر توان در مدار پیشنهادی ۳ ایجاد شده است این مدار از نظر تاخیر دارای عملکرد بدترین در مقایسه با دیگر مدارها می‌باشد. نتایج تاخیر در شکل (۴-ب) نمایش داده شده است. در این حالت، مدار SAPSC4 دارای عملکرد مناسب‌تری در مقایسه با دیگر مدارها دارد. هرچند، باتوجه به نتایج می‌توان مشاهده کرد که دو مدار پیشنهادی ۱ و ۲ دارای رفتاری مشابه با این مدار می‌باشند. بنابراین، بهتر است تا بررسی‌های کامل‌تری از نظر PDP و PDAP صورت گیرد. بدین منظور شکل (۴-ج) نتایج PDP را نشان می‌دهد. یکی از مهم-ترین برداشت‌هایی که می‌توان از این نتایج داشت عملکرد بهتر مدار AXSC2 در مقایسه با مدار پیشنهادی ۳ است، که نشأت گرفته از عملکرد تاخیر بهتر آن مدار است. با این حال، تفاوت قابل توجهی بین این دو مدار وجود ندارد. همچنین قابل ذکر است که مدارهای مبتنی بر CMOS مانند AXSC2 دارای پایداری بالاتری نسبت به PVT می-باشند. بنابراین، بررسی PDAP حائز اهمیت‌ترین نتیجه‌ای است که به-طور جدی مدنظر قرار می‌گیرد. در این صورت شکل (۴-د) به نمایش این

پارامتر پرداخته است. می‌توان مشاهده کرد که مدار پیشنهادی ۳ به‌دلیل تعداد ترانزیستور بسیار کم مورد استفاده قرار گرفته در آن از عملکرد بهتری از نظر میانگین PDAP برخوردار می‌باشد. مدار پیشنهادی ۳ در جایگاه اول با مقدار 11.61، نسبت به مدارهای AXSC2، مدار پیشنهادی ۲ و ۳ در جایگاه‌های دوم تا چهارم، به‌ترتیب دارای ۱۲/۸۹٪، ۵۷/۱۰۹٪ و ۷۵/۴۹٪ برتری است. این نتیجه‌گیری نشان می‌دهد که مدار پیشنهادی ۳ که ادغامی از مدار پیشنهادی ۱ و ۲ بود و از عدم استفاده از اینورتر بهره‌مند است، گزینه بسیار مناسبی برای استفاده در کاربردهای پیچیده می‌باشد. منظور از کاربردهای پیچیده به‌طور خاص استفاده از این سلول‌های تک‌بیتی در ساختارهای چندبیتی مانند تقسیم‌کننده‌ها می‌باشد. در این‌گونه ساختارها قدرت بارگزاری^۷ یک موضوع بسیار مهم است. از این رو، در ادامه به بررسی قدرت بارگزاری این مدارها پرداخته می‌شود که مطابق با اعمال Fan-out‌های مختلف به مدار می‌باشد. با انجام این شبیه‌سازی می‌توان به عملکرد مدارها در هنگام تعبیه در ساختارهای بزرگتر دست پیدا کرد. قابل ذکر است که مدارهای تفریق‌کننده‌ای که در ساختارهای تقسیم‌کننده قرار می‌گیرند باتوجه به ابعاد بیت‌های ورودی تقسیم‌کننده مقدار ثابتی دارند. این بدین معنی است که مدارهایی که بدین منظور طراحی می‌شوند نیازی به قدرت بارگزاری بسیار زیاد ندارند. به‌طور معمول در این‌گونه ساختارها FO4 و FO8 مقادیر مناسبی هستند که می‌توان به‌منظور بررسی این مدارها مورد استفاده قرار داد. همچنین، به‌منظور پرهیز از تکرار، تنها نتایج PDP و PDAP گزارش می‌شود که به ترتیب مطابق با شکل (۵-الف و ب) می‌باشد.

با این شبیه‌سازی می‌توان به عملکرد مدارها در هنگام تعبیه در ساختارهای بزرگتر دست پیدا کرد. قابل ذکر است که مدارهای تفریق‌کننده‌ای که در ساختارهای تقسیم‌کننده قرار می‌گیرند باتوجه به ابعاد بیت‌های ورودی تقسیم‌کننده مقدار ثابتی دارند. این بدین معنی است که مدارهایی که بدین منظور طراحی می‌شوند نیازی به قدرت بارگزاری زیاد ندارند. به‌طور معمول در این‌گونه ساختارها FO4 و FO8 مقادیر مناسبی هستند که می‌توان به‌منظور بررسی این مدارها مورد استفاده قرار داد. همچنین، به‌منظور پرهیز از تکرار، تنها نتایج PDP و PDAP گزارش می‌شود که مطابق با شکل (۵-الف و ب) به‌ترتیب می‌باشد.

نتایج گویای برتری مدار پیشنهادی ۳ از نظر قدرت بارگزاری در مقایسه با دیگر مدارها است. از نظر PDP می‌توان مشاهده کرد که مدار ۳ تقریباً دو برابر به‌ازای FO4 و FO8 از نزدیکترین رقیب بازده بیشتری دارد. بنابراین، باتوجه به این نتایج می‌توان مدار ۲ را برای کاربردهای با قدرت بارگزاری بالا مناسب‌تر از بقیه مدارها در نظر گرفت.

⁵ Maximum

⁶ Mean

⁷ Drivability

¹ process-voltage-temperature (PVT)

² Iteration

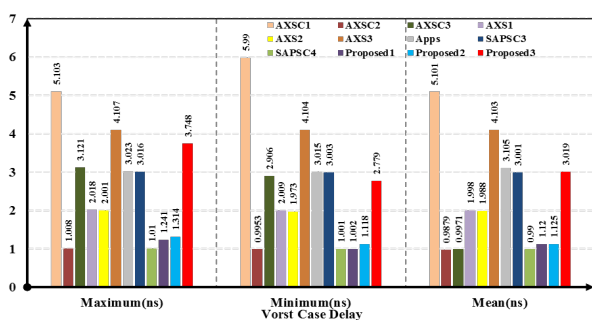
³ Pitch = distance between tubes

⁴ Minimum

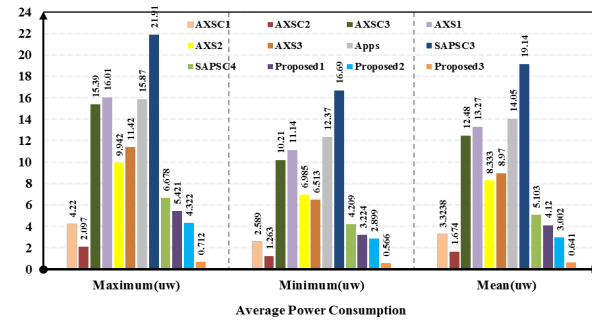


جدول (۳). نتایج شبیه سازی تغییرات منبع ولتاژ

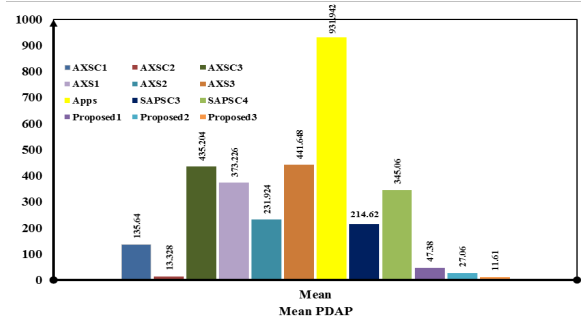
Designs	0.6 V			0.9 V			1.2 V		
	Power (μ W)	Delay (ns)	PDP (fj)	Power (μ W)	Delay (ns)	PDP (fj)	Power (μ W)	Delay (ns)	PDP (fj)
AXSC1	0.3963	5.1034	2.0226	1.4575	5.1025	7.4369	2.7383	5.1026	14.205
AXSC2	0.2321	1.0044	2.3322	0.6827	0.9942	0.6788	1.7	0.9932	1.6886
AXSC3	0.4959	3.1314	1.553	1.4763	3.1242	4.6122	3.298	3.1041	10.237
AXS1	1.166	2.0042	2.337	4.8134	2.009	9.6701	11.209	2.0072	22.499
AXS2	1.011	1.0134	3.04	3.2617	1.0102	3.2951	7.5539	1.0128	7.6508
AXS3	0.5567	3.0072	1.6741	1.7238	3.0059	5.1814	4.2613	3.0058	12.809
Apps	1.5853	3.0189	4.7848	5.3623	3.0174	16.18	1.2793	3.0167	38.592
SAPSC3	0.5193	3.0013	1.5588	1.909	3.0077	5.7417	4.4969	3.0063	13.519
SAPSC4	2.0089	1.0057	2.0203	7.173	1.0023	7.1895	1.7235	1.003	17.286
Proposed-1	1.876	1.014	1.332	5.465	1.033	5.447	12.220	1.066	12.304
Proposed-2	0.996	1.036	1.041	3.887	1.068	3.852	9.001	1.056	9.012
Proposed-3	0.059	3.556	2.432	0.146	3.203	0.407	0.124	3.253	0.778



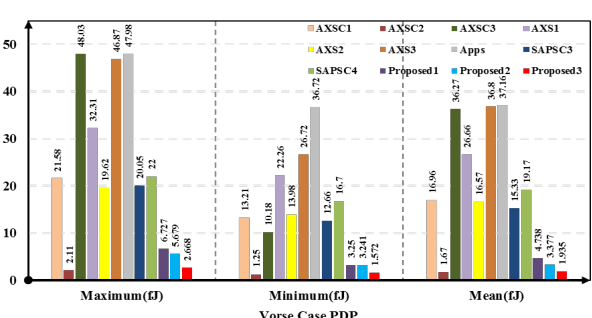
(ب)



(ف)

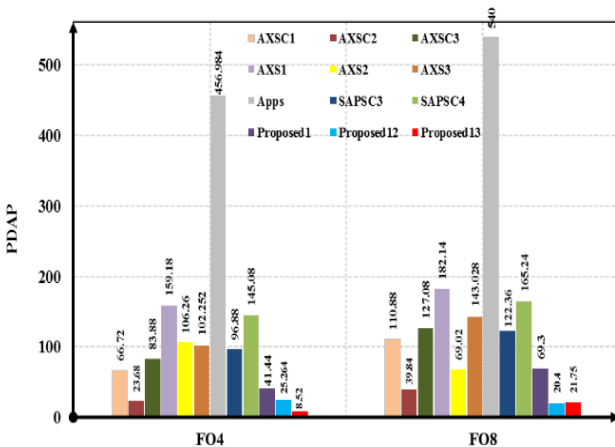


(د)

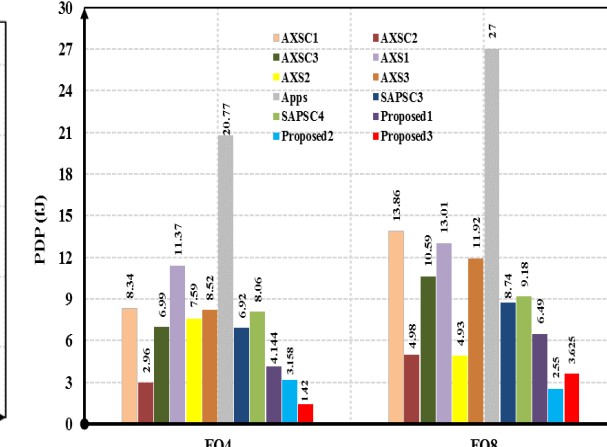


(ج)

شکل (۴). نتایج حاصل از مونت کارلو به ازای PVT برای الف) توان، ب) تاخیر، ج) PDP و د) PDAP



(ب)



(ف)

شکل (۵). نتایج حاصل از بررسی fan-out به ازای الف) PDP و ب) PDAP



زیر پرداخته می‌شود. براین اساس، حاصل ضرب PDP در تأخیر برابر با مقدار EDP می‌باشد، درحالی‌که به‌منظور در نظرگیری سطح مصرفی اشغالی حاصل ضرب تعداد تیوپ‌ها (در این مقاله ۱۰ برای هر ترانزیستور) در تعداد ترانزیستورها استفاده شده است. هرچه مقدار این معیار کمتر باشد مدار عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد. به‌طور کلی این رابطه انرژی مصرفی به‌ازای هر تیوپ در ترانزیستورها را نشان می‌دهد [۱۸].

$$EDPPOT = \frac{[PDP(f)] \times Delay(ns)}{Number\ of\ tubes \times Number\ of\ Transistors} \quad (۸)$$

مطابق با این توضیحات، ساختارهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفته تا بتوان به بهترین گزینه برای استفاده مدارهای پیشنهادی دست پیدا کرد. در ابتدا به‌بررسی عملکرد مدارهای پیشنهادی در هر ساختار پرداخته می‌شود و مناسب‌ترین ساختار برای این مدارها معرفی می‌شود. جدول (۴-۵) نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. مقادیر این جدول درمقایسه با حالت تقسیم‌کننده تمام‌دقیق (استفاده از تفریق‌کننده‌های دقیق به ازای تمام سلول‌های این ساختار) می‌باشد. مقایسه تک به تک پارامترهای بدست آمده امری طاقت‌فرسا می‌باشد. بنابراین، به‌ارائه یک معیار شایستگی با نام $EDPPOT^1$ ، مطابق با رابطه

جدول (۴). بررسی مدارهای پیشنهادی در تقسیم‌کننده ۸ بیتی با آرایش‌های مختلف

VR						
Designs	Power (μ W)	Delay (μ s)	PDP (pJ)	Area	PDAP	PDAPPOT
Proposed-1	73.429(19.621%)	0.2356(46.74%)	18.713(55.14%)	184	3443.19	3.443(14.85%)
Proposed-2	43.296(52.6%)	0.3628(17.99%)	15.707(61.13%)	168	2638.77	3.298(18.56%)
Proposed-3	52.398(42.64%)	0.1987(55.08%)	10.411(74.23%)	152	1582.47	2.637(34.9%)
AXSC1	89.357 (2.19%)	0.3135 (29.14%)	28.0134 (30.69%)	168	4706.25	2.80 (30.69%)
AXSC2	56.165 (38.52%)	0.3165 (28.46%)	17.7765 (56.02%)	168	2986.45	1.78 (55.94%)
AXSC3	75.398 (17.47%)	0.3622 (18.13%)	27.3091 (32.43%)	200	5461.82	2.73 (32.42%)
AXS1	218.52 (failed)	0.4007 (9%)	87.5609 (failed)	216	18913.15	8.76 (failed)
AXS2	143.76 (failed)	0.4399 (1%)	63.24 (failed)	216	13659.84	6.32 (failed)
AXS3	69.514 (23.91%)	0.3597 (18.69%)	25.0041 (38.13%)	200	5000.82	2.50 (38.11%)
Apps	76.417 (16.35%)	0.4014 (9.27%)	30.6737 (24.10%)	280	8588.64	3.07 (24%)
SAPSC3	79.412 (13.07%)	0.4225 (4.49%)	33.552 (16.98%)	216	7247.23	3.36 (16.83%)
SAPSC4	89.057 (2.51%)	0.4018 (9.17%)	35.783 (11.46%)	248	8874.18	3.58 (11.38%)
HR						
Designs	Power (μ W)	Delay (μ s)	PDP (pJ)	Area	PDAP	PDAPPOT
Proposed-1	81.230(11.082%)	0.112(74.96%)	18.713(55.14%)	184	3443.192	3.43(15.09%)
Proposed-2	39.994(56.22%)	0.1654(62.61%)	6.615(83.63%)	168	1111.32	1.389(65.84%)
Proposed-3	39.470(56.79%)	0.1988(55.06%)	7.846(80.58%)	152	1192.59	1.987(50.81%)
AXSC1	83.618 (8.47%)	0.5975 (failed)	49.9961 (failed)	168	8399.34	5.00 (failed)
AXSC2	75.368 (17.5%)	0.3067 (30.67%)	23.1153 (42.81%)	168	3883.37	2.31 (42.82%)
AXSC3	91.954 (failed)	0.3173 (28.28%)	29.1770 (27.81%)	200	5835.40	2.92 (27.72%)
AXS1	316.93 (failed)	0.3014 (32%)	95.5227 (failed)	216	20632.90	9.55 (failed)
AXS2	200.62 (failed)	0.3169 (28%)	63.5764 (failed)	216	13732.50	6.36 (failed)
AXS3	73.130 (19.95%)	0.3741 (15.44%)	27.3579 (32.31%)	200	5471.58	2.74 (32.17%)
Apps	76.95 (15.77%)	0.4057 (8.3%)	31.2186 (22.75%)	280	8741.21	3.12 (22.77%)
SAPSC3	86.950 (4.82%)	0.3671 (17.02%)	31.919 (21.02%)	216	6894.50	3.19 (21.03%)
SAPSC4	90.214 (1.24%)	0.3471 (21.54%)	31.313 (22.52%)	248	7765.62	3.13 (22.52%)
SR						
Designs	Power (μ W)	Delay (μ s)	PDP (pJ)	Area	PDAP	PDAPPOT
Proposed-1	76.842(15.88%)	0.1876(57.59%)	14.41(64.34%)	192	2766.72	2.766(31.68%)
Proposed-2	58.632(35.81%)	0.258(41.68%)	15.127(62.98%)	184	2783.36	3.47(14.1%)
Proposed-3	49.645(45.65%)	0.267(39.64%)	13.25(67.21%)	176	2332	3.886(3.81%)
AXSC1	75.254 (17.62%)	0.3166 (28.44%)	23.8254 (41.05%)	184	4383.87	2.38 (41.08%)
AXSC2	69.133 (24.32%)	0.3047 (31.13%)	21.064 (47.88%)	184	3875.78	2.11 (47.77%)
AXSC3	71.992 (21.19%)	0.7618 (failed)	54.8435 (failed)	200	10968.70	5.48 (failed)
AXS1	140.14 (failed)	0.3162 (29%)	44.3122 (failed)	208	9216.94	4.43 (failed)
AXS2	105.46 (failed)	0.3717 (16%)	39.1994 (3%)	208	8153.48	3.92 (2.97%)
AXS3	61.528 (32.65%)	0.3600 (18.63%)	22.1500 (45.19%)	200	4430.00	2.22 (45.04%)
Apps	71.720 (21.49%)	0.3171 (28.32%)	22.7424 (43.73%)	240	5458.18	2.27 (43.81%)
SAPSC3	71.7254 (21.48%)	0.4721 (failed)	33.862 (16.21%)	208	7043.30	3.39 (16.08%)
SAPSC4	81.247 (11.06%)	0.4068 (8.04%)	33.051 (18.22%)	224	7403.42	3.31 (18.06%)

¹ Energy-Delay-Product-Per-Of-Tubes



جدول (۵). بررسی مدارهای پیشنهادی در تقسیم کننده ۸ بیتی با آرایش های مختلف

TR-1						
Designs	Power (μ W)	Delay (μ s)	PDP (pJ)	Area	PDAP	PDAPPOT
Proposed-1	74.096(18.89%)	0.315(28.75%)	23.34(42.53%)	190	4434.6	4.43(12.72%)
Proposed-2	63.451(30.54%)	0.1564(64.64%)	9.923(75.44%)	184	1825.8	2.282(43.56%)
Proposed-3	66.331(27.39%)	0.423(4.58%)	28.05(30.59%)	178	1295.5	2.159(46.78%)
AXSC1	70.371 (22.97%)	0.6332 (failed)	36.4381 (9.84%)	184	6704.61	3.64 (9.9%)
AXSC2	66.787 (26.89%)	0.3162 (28.53%)	21.118 (47.75%)	184	3885.71	2.11 (47.77%)
AXSC3	69.412 (24.02%)	0.3154 (28.71%)	21.8925 (45.83%)	196	4290.93	2.19 (45.79%)
AXS1	115.31 (failed)	0.4271 (3%)	49.2489 (failed)	202	9948.28	4.92 (failed)
AXS2	97.912 (failed)	0.5147 (failed)	50.3953 (failed)	202	10179.85	5.04 (failed)
AXS3	62.296 (31.81%)	0.3705 (16.25%)	23.0806 (42.89%)	196	4523.80	2.31 (42.82%)
Apps	93.260 (failed)	0.3075 (30.49%)	28.6774 (29.04%)	226	6481.09	2.87 (28.96%)
SAPSC3	83.260 (8.86%)	0.3618 (18.22%)	30.123 (25.47%)	202	6084.85	3.01 (25.49%)
SAPSC4	85.854 (6.02%)	0.4257 (3.77%)	36.548 (9.57%)	214	7821.27	3.65 (9.65%)
TR-2						
Designs	Power (μ W)	Delay (μ s)	PDP (pJ)	Area	PDAP	PDAPPOT
Proposed-1	45.286(50.42%)	0.147(66.77%)	6.657(82.87%)	180	1198.26	1.198(70.34%)
Proposed-2	32.033(64.93%)	0.202(54.33%)	3.267(83.00%)	160	522.72	0.69(82.92%)
Proposed-3	10.286(88.36%)	0.158(46.12%)	1.625(95.96%)	140	227.5	0.3791(90.61%)
AXSC1	99.214 (failed)	0.2133 (51.79%)	21.162 (47.64%)	160	3385.92	2.12 (47.52%)
AXSC2	67.231 (26.41%)	0.3653 (17.43%)	24.559 (39.23%)	160	3929.44	2.46 (39.1%)
AXSC3	91.070 (0.31%)	0.4330 (2.12%)	39.433 (2.43%)	200	7886.60	3.94 (2.47%)
AXS1	319.88 (failed)	0.1946 (56.01%)	62.249 (failed)	220	13694.78	6.22 (failed)
AXS2	200.55 (failed)	0.3402 (23.1%)	68.227 (failed)	220	15009.94	6.82 (failed)
AXS3	35.531 (61.11%)	0.2803 (36.64%)	9.959 (75.36%)	200	1991.80	1 (75.24%)
Apps	75.144 (17.74%)	0.2460 (44.39%)	18.485 (54.26%)	300	5545.50	1.85 (54.2%)
SAPSC3	81.364 (10.94%)	0.3624 (18.08%)	29.486 (27.04%)	220	6486.92	2.95 (26.98%)
SAPSC4	366.49 (failed)	0.1916 (56.69%)	70.219 (failed)	260	18256.94	7.02 (failed)
TR-3						
Designs	Power (μ W)	Delay (μ s)	PDP (pJ)	Area	PDAP	PDAPPOT
Proposed-1	83.606(8.48%)	0.222(49.81%)	18.56(54.07%)	190	3526.4	3.526(12.72%)
Proposed-2	54.750(40.06%)	0.154(65.18%)	8.4315(79.13%)	178	1500.8	1.876(53.71%)
Proposed-3	60.55(33.72%)	0.198(55.24%)	11.98(70.35%)	166	1998.68	3.144 (17.97%)
AXSC1	80.654(11.71%)	0.354(19.98%)	28.551(29.35%)	178	5082.07	4.235(failed)
AXSC2	63.274(30.73%)	0.4157(6.035%)	26.303(34.91%)	178	4681.93	3.344(17.33%)
AXSC3	82.954(2.19%)	0.254(42.58%)	21.07(47.87%)	202	4256.14	3.547(12.37%)
AXS1	181.452(failed)	0.214(51.17%)	38.83(3.94%)	214	8309.62	5.93(failed)
AXS2	126.274(failed)	0.65(failed)	82.07(failed)	214	17562.98	14.635(failed)
AXS3	62.332(31.76%)	0.742(failed)	46.25(failed)	202	9342.5	7.785(failed)
Apps	71.024(22.25%)	0.654(failed)	46.44(failed)	262	12167.2	5.530(failed)
SAPSC3	78.242(14.35%)	0.325(26.53%)	25.428(37.07%)	214	5441.59	3.886(3.96%)
SAPSC4	86.32(5.51%)	0.412(6.87%)	35.563(12.0%)	238	8463.99	4.7022(failed)
Exact with GDI F2	91.354	0.4424	40.4150	200	8083.00	4.04

* % are the results saving compared to their exact counterparts and bold numbers mean better results. Failed results mean no better results compared to the exact result. Also blue and Red colors mean best and worst results, respectively

جدول (۶). نتایج NMED و FoM مدارها در طول کاربرد پردازش تصویر

Designs	TR-2	
	NMED	EDPPOT/1-NMED
Proposed-1	0.4175	2.057
Proposed-2	0.4207	1.191
Proposed-3	0.4057	0.638
AXSC1	0.2657	2.887
AXSC2	0.2719	3.379
AXSC3	0.2559	5.295
AXS1	0.2457	8.246
AXS2	0.2687	9.326
AXS3	0.2690	1.368
Apps	0.4687	3.482



۳- نتیجه‌گیری

باتوجه به کمبود ساختارهای قابل‌اعتماد مدارهای تفریق کننده تقریبی برای استفاده در مدارهای پیچیده‌تر مانند تقسیم کننده‌ها، در این مقاله سه مدار جدید با ساختارها و ویژگی‌های متفاوتی ارائه و پیشنهاد شده است. مدارهای پیشنهادی دارای روابط بولن و جدول درستی متفاوتی نسبت به کارهای پیشین در این زمینه می‌باشند. هم‌چنین، مدارهای پیشنهادی ۱ و ۲ دارای ۳ خطا و مدار پیشنهادی ۳ دارای ۴ خطا در جدول درستی خود است. دلیل افزایش خطا در مدار ۳، دستیابی به عملکرد بهتر مداری است. تکنیک مورد استفاده در طراحی این مدارها، دروازه ورودی انتشار، است که باعث شده است تا این سه مدار به ترتیب دارای ۱۰، ۸ و ۶ ترانزیستور باشند. شبیه‌سازی‌های گسترده صورت گرفته از نظر بررسی اثر تغییرات ولتاژ و دما، هم‌چنین بررسی عملکرد این مدارها از نظر قدرت بارگزاری گویای برتری مدار پیشنهادی ۳ از نظر پارامتر توان مصرفی و انرژی مصرفی با اختلاف قابل توجه درمقایسه با دیگر مدارها است. تعبیه این مدارها در ساختار تقسیم کننده ۸ بیتی با آرایش مختلف نیز برتری مدار پیشنهادی ۳ را از نقطه نظرات مختلف اثبات می‌کند و این سلول را به یک سلول قابل توجه برای استفاده در کاربردهای مختلف مناسب می‌سازد. بررسی معیارهای شایستگی مختلف متشکل از هم پارامترهای مداری و هم پارامترهای دقت و خطا نشان می‌دهد که مدار پیشنهادی ۳ دارای حداقل ۴۳/۴۶٪ و ۳۶/۵۳٪ بهبود نسبت به دو مدار پس از خود می‌باشد و همین نتیجه این مدار را به‌عنوان بهترین مدار در هنگام استفاده از در کاربردهای مبتنی بر تقسیم کننده، مانند تشخیص تفاوت در پردازش تصاویر دیجیتال معرفی می‌کند.

مراجع:

- [1] Liu, W., Lombardi, F. and Shulte, M., 2020. A retrospective and prospective view of approximate computing [point of view]. *Proceedings of the IEEE*, 108(3), pp.394-399.
- [2] Jiang, H., Santiago, F.J.H., Mo, H., Liu, L. and Han, J., 2020. Approximate arithmetic circuits: A survey, characterization, and recent applications. *Proceedings of the IEEE*, 108(12), pp.2108-2135.
- [3] Sadeghi, A., Ghasemi, R., Ghasemian, H. and Shiri, N., 2022. High Efficient GDI-CNTFET-Based Approximate Full Adder for Next Generation of Computer Architectures. *IEEE Embedded Systems Letters*, 15(1), pp.33-36
- [4] Rafiee, M., Sadeghi, Y., Shiri, N. and Sadeghi, A., 2021. An approximate CNTFET 4: 2 compressor based on gate diffusion input and dynamic threshold. *Electronics Letters*, 57(17), pp.650-652.
- [5] Gorantla, A. and Deepa, P., 2019. Design of approximate subtractors and dividers for error tolerant image processing applications. *Journal of Electronic Testing*, 35(6), pp.901-907..
- [6] Chen, L., Han, J., Liu, W. and Lombardi, F., 2015. On the design of approximate restoring dividers for error-tolerant applications. *IEEE Transactions on Computers*, 65(8), pp.2522-2533.

ابتدا به مقایسه نتایج بدست آمده توسط مدارهای پیشنهادی در مقایسه با حالت تمام دقیق پرداخته می‌شود. براین اساس، می‌توان مشاهده کرد، در آرایش VR و TR-3 مدار پیشنهادی ۲، به‌عنوان بهترین مدار از نظر توان مصرفی، در مقایسه با حالت دقیق، مقدار میانگین 46.33% عملکرد بهتر را داراست. در مقابل به‌ازای دیگر آرایش‌ها این مدار پیشنهادی ۳ است که از نظر توان دارای بهترین عملکرد است. مقدار میانگین بهبود یافته درمقایسه با حالت دقیق در ۴ آرایش باقی مانده برای این مدار برابر با 53.5% است. بنابراین، می‌توان دریافت به‌منظور استفاده از مدارهای پیشنهادی برای کاربردهای مبتنی بر توان مصرفی مدار پیشنهادی ۳ گزینه بهتری به حساب می‌آید. هم‌چنین، همین برداشت را می‌توان از نظر PDP نیز داشت. هم‌چنین از نظر EDPPOT، می‌توان مشاهده کرد که مدار پیشنهادی ۲ در آرایش‌های SR، HR و TR-3 با مقادیر ۶۵/۸۴٪، ۱۴/۱٪ و ۵۳/۷۱٪ عملکرد بهتر نسبت به مدار دقیق درمقایسه با دیگر مدارها در شرایط بهتری قرار دارد. در مقابل برای آرایش‌های VR، TR-1 و TR-2 مدار پیشنهادی ۳ با مقادیر ۳۴/۹٪، ۴۶/۷۸٪ و ۹۰/۶۱٪ بهبود بیشتر درمقایسه با مدار دقیق از نظر EDPPOT در رتبه اول قرار دارد. حال برای انتخاب بهترین مدار و بهترین ساختار برای استفاده از این مدار می‌توان به آرایش TR-2 اکتفا کرد زیرا در این حالت مدار پیشنهادی ۳ (با مقدار ۹۰/۶۱٪ بهبود) در حداکثر نقطه بهینه‌سازی درمقایسه با ساختار دقیق قرار دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود به‌منظور استفاده از سلول‌های پیشنهادی در ساختارها و کاربردهای متنوع از مدار پیشنهادی ۳ به‌دلیل عملکرد بهتر در هنگام تعبیه در تقسیم کننده و شبیه‌سازی‌های قسمت قبل استفاده شود.

حال که عملکرد مداری تمامی ساختارها مورد بررسی قرار گرفته است، می‌توان به استخراج پارامتر NMED به‌ازای ساختار انتخاب شده، TR-2، پرداخت. براین اساس جدول (۶) تهیه شده است. مطابق با نتایج بدست آمده و همانگونه که قابل انتظار است مدارهای پیشنهادی به‌دلیل تعداد خطاهای بیشتری که در جدول درستی خود درمقایسه با دیگر مدارها دارند دارای عملکرد ضعیف‌تری از نظر NMED می‌باشند. با این حال نمی‌توان تنها براساس نتایج بدست آمده از NMED با پارامترهای مداری بهترین مدار را انتخاب کرد. از این‌رو، مطابق با مرجع [۱۹] یک معیار شایستگی برابر با رابطه زیر مورد استفاده قرار گرفته است که هم پارامترهای مداری و هم پارامتر دقت، NMED، را در بردارد. براین اساس، هرچه مقدار این معیار کمتر باشد شایستگی مدار برای استفاده در این ساختار بیشتر است. مطابق با نتایج بدست آمده می‌توان دریافت، با وجود عملکرد ضعیف‌تر مدار پیشنهادی ۳ از نظر NMED درمقایسه با اکثر مدارها، اما از نظر معیار شایستگی این مدار در صدر قرار دارد. پس از مدار پیشنهادی ۳، مدار پیشنهادی ۲ و سپس AXS3 قرار دارد. اختلاف مدار پیشنهادی ۳ با این دو مدار به ترتیب برابر با ۴۶/۴۳٪ و ۵۳/۳۶٪ می‌باشد. بنابراین، بهترین مدار ارائه شده به‌منظور استفاده در کاربردهای مختلف مانند پردازش تصویر مدار پیشنهادی ۳ است.

$$\text{Figure of Merit (FoM)} = \frac{\text{EDPPOT}}{1 - \text{NMED}} \quad (9)$$



- operator for low-power video coding hardware accelerators. In *2019 26th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)* (pp. 426-429). IEEE.
- [14] Krishnan, K.V., Satish, A. and raj Krishnan, P., 2023. Design of energy efficient approximate subtractors and restoring dividers for error tolerant applications. *Microelectronics Journal*, 131, p.105668.
- [15] Mirzaei, M. and Mohammadi, S., 2021. Low-power and variation-aware approximate arithmetic units for image processing applications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 138, p.153825.
- [16] Mirzaei, M. and Mohammadi, S., 2020. Process variation-aware approximate full adders for imprecision-tolerant applications. *Computers & Electrical Engineering*, 87, p.106761.
- [17] Sadeghi, A., Shiri, N. and Rafiee, M., 2020. High-efficient, ultra-low-power and high-speed 4: 2 compressor with a new full adder cell for bioelectronics applications. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 39, pp.6247-6275.
- [18] Pooladi, F., Pesaran, F. and Shiri, N., 2023. Efficient GDI-based approximate subtractors for change detection in bio-image processing applications. *Microelectronics Journal*, 135, p.105757.
- [19] Sabetzadeh, F., Moaiyeri, M.H. and Ahmadinejad, M., 2019. A majority-based imprecise multiplier for ultra-efficient approximate image multiplication. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 66(11), pp.4200-4208.
- [7] Bahrami, F., Shiri, N. and Pesaran, F., 2023. A New Approximate Sum of Absolute Differences Unit for Bioimages Processing. *IEEE Embedded Systems Letters*.
- [8] Akbari, O., Kamal, M., Afzali-Kusha, A. and Pedram, M., 2017. Dual-quality 4: 2 compressors for utilizing in dynamic accuracy configurable multipliers. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 25(4), pp.1352-1361..
- [9] Strollo, A.G.M., Napoli, E., De Caro, D., Petra, N. and Di Meo, G., 2020. Comparison and extension of approximate 4-2 compressors for low-power approximate multipliers. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 67(9), pp.3021-3034.
- [10] Ferreira, R., Leme, M., Corrêa, M., Agostini, L., Diniz, C. and Zatt, B., 2019, November. Approximate subtractor operator for low-power video coding hardware accelerators. In *2019 26th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)* (pp. 426-429). IEEE..
- [11] Chen, L., Han, J., Liu, W. and Lombardi, F., 2015. On the design of approximate restoring dividers for error-tolerant applications. *IEEE Transactions on Computers*, 65(8), pp.2522-2533.
- [12] Reddy, K.M., Vasantha, M.H., Kumar, Y.N. and Dwivedi, D., 2018, August. Design of approximate dividers for error tolerant applications. In *2018 IEEE 61st International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)* (pp. 496-499). IEEE.
- [13] Ferreira, R., Leme, M., Corrêa, M., Agostini, L., Diniz, C. and Zatt, B., 2019, November. Approximate subtractor





یک معماری محاسبات هوشمند در اینترنت اشیا پزشکی جهت کاهش تاخیر سیستم نظارت مستمر بیماران کم توان حرکتی و بیماران خاص

رضا آریانا^۱، محمدرضا مجمع^{۲*}، سمیه جعفرعلی جاسبی^۳

۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

reza.ariana@srbiau.ac.ir

۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس، ایران

m_majma@pardisiau.ac.ir

۳- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

s.jassbi@srbiau.ac.ir

چکیده: فناوری اینترنت اشیا (IoT) یک رویکرد ساختاریافته برای رسیدگی به جنبه‌های ارائه خدمات مراقبت‌های بهداشتی از نظر سلامت و نظارت از راه دور برای بیماران دارای شرایط خاص و بیمارهای تهدیدکننده زندگی ارائه می‌دهد. اینترنت اشیا حجم بی‌سابقه‌ای از داده را تولید می‌کند که می‌تواند با استفاده از محاسبات ابری پردازش شود که به دلیل محدودیت منابع، تاخیر بسیار زیادی را به دنبال خواهد داشت. اما برای برنامه‌های نظارت بر سلامت از راه دور بی‌درنگ، تأخیر ناشی از انتقال داده‌ها به ابر و بازگشت به برنامه غیرقابل قبول است. در این مقاله نظارت از راه دور سلامت بیمار در خانه‌های هوشمند با استفاده از مفهوم محاسبه مه در دروازه هوشمند پیشنهاد شده است. سیستم تشخیص FOG پیاده‌سازی شده تحت محاسبات مه، شامل یک نگاشت خطی و نگاشت موبوس در ترکیب با منطق فازی برای ایجاد خروجی چند سطحی (MLFM-Map) بود که از وضوح‌های فضایی مختلف در تجزیه و تحلیل داده‌های حرکتی بهره‌برداری می‌کند. رویکرد پیشنهاد شده عملکرد طبقه‌بندی خوب تا عالی را نشان داد، با دقت بیش از ۹۰٪ از قسمت‌های FOG به طور متوسط با تاخیر بسیار کم در مجموعه داده اصلی شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: تشخیص انجماد راه رفتن (FOG)، بیماری پارکینسون (PD)

An intelligent computing architecture in the Internet of Medical Things to reduce the delay of the continuous monitoring system of patients with low mobility and special patients

Reza ariana¹, mohamadreza majma^{2*}, somayyeh jafarali jassbi³

¹ Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
 reza.ariana@srbiau.ac.ir

² Department of Computer Engineering, Pardis Branch, Islamic Azad University, Pardis, Iran
 m_majma@pardisiau.ac.ir

³ Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
 s.jassbi@srbiau.ac.ir

Abstract:

Internet of Things (IoT) technology offers a structured approach to address aspects of health care delivery in terms of health and remote monitoring for patients with specific conditions and life-threatening diseases. The Internet of Things will generate an unprecedented amount of data that can be processed using cloud computing, which will result in huge delays due to resource limitations. But for real-time remote health monitoring applications, the delay caused by transferring data to the cloud and back to the application is unacceptable. we proposed remote monitoring of patient health in smart homes using the concept of fog computing in smart gateway. The FOG detection system implemented under fog



computing consisted of a linear map and a Mobius map in combination with fuzzy logic to create a multi-level output (MLFM-map) that exploits different spatial resolutions in motion data analysis. The model architecture and parameters are designed to provide optimal performance while reducing computational complexity and testing time. The proposed approach showed good to excellent classification performance, with an accuracy of more than 90% of FOG episodes detected on average with very low latency in the original dataset

Keywords: Detection of freezing of gait (FOG), Parkinson's disease (PD)

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۹/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

وقوع یخ زدگی جلوگیری کند. سنسورهای پوشیدنی نصب شده بر روی قسمت‌های مختلف بدن برای توسعه سیستم‌های پیش‌بینی مه استفاده شده است. با ظهور فناوری‌هایی مانند رایانش ابری، اینترنت اشیا و 5G، می‌توان اطلاعات را سریع‌تر و ایمن‌تر رد و بدل کرد. اینترنت اشیا فرصت‌های زیادی را در زمینه سلامت الکترونیک ارائه می‌دهد.

اکثر بیماری‌های افراد نیاز به فناوری‌های جدید، مانند اینترنت اشیا پزشکی، شبکه‌های بی‌سیم ناحیه‌ی بدن^۶ (WBAN) و محاسبات ابری را در بخش بهداشت و در بسیاری از زمینه‌ها افزایش داده است. این فناوری‌ها همچنین امکان اتصال میلیاردها دستگاه را به اینترنت و ارتباط با یکدیگر فراهم کرده است. در [۹]، یک چارچوب اینترنت اشیا پزشکی متشکل از شبکه‌های بی‌سیم ناحیه بدن (WBAN) طراحی شده است و داده‌های بزرگ سلامت از WBAN‌ها با استفاده از فناوری‌های مه و محاسبات ابری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. محاسبات مه برای تجزیه و تحلیل سریع و آسان و رایانش ابری برای تجزیه و تحلیل زمان‌بر و پیچیده استفاده می‌شود. چارچوب پیشنهادی اینترنت اشیا پزشکی با یک سناریوی پیش‌بینی دیابت ارائه شده است. فرآیند پیش‌بینی دیابت بر روی مه با تصمیم‌گیری منطق فازی انجام می‌شود و بر روی ابر با ماشین بردار پشتیبانی^۷ (SVM)، جنگل تصادفی^۸ (RF) و شبکه عصبی مصنوعی^۹ (ANN) به عنوان الگوریتم‌های یادگیری ماشین به دست می‌آید. مجموعه داده تولید شده در WBAN‌ها برای تحلیل داده‌های بزرگ در سناریو برای منطق فازی و الگوریتم یادگیری ماشین استفاده می‌شود. منطق فازی عملکرد دقت ۶۴٪/۰ را در مه و SVM، RF و ANN به ترتیب ۸۹٪/۵، ۸۸٪/۴ و ۶۷٪/۲ عملکرد دقت در ابر برای پیش‌بینی دیابت دارند. علاوه بر این، نتایج خروجی و تاخیر گره‌های ناهمگن با اولویت‌های مختلف در سناریوی WBAN ایجاد شده با استفاده از استاندارد IEEE 802.15.6 و پروتکل مسیریابی AODV نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

در [۱۰]، یک روش تشخیص FOG بر اساس تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری پیشنهاد شده که از خوانش‌های حسگرها برای پیش‌بینی وجود یا عدم وجود انجماد در بیمار استفاده می‌کند. علاوه بر این، یک رویکرد یادگیری گروهی که از تحلیل رابطه خاکستری به عنوان مدل طبقه‌بندی پایه استفاده می‌کند نیز برای تشخیص FOG نشان داده شده

۱- مقدمه

اینترنت اشیا پزشکی^۱ سیستمی از دستگاه‌های به هم پیوسته، یک ماشین دیجیتال با یک شیء واقعی و یک دستگاه مکانیکی است که مجهز به UID است و قادر است داده‌ها را از مکانی به مکان دیگر بدون دخالت انسان منتقل کند. اینترنت اشیا پزشکی همانطور که در [۱] تعریف شده، گروهی از لوازم پزشکی است که با کمک Gateway به یک شبکه متصل می‌شوند. اینترنت اشیا پزشکی قدرت تولید برنامه‌های کاربردی بسیاری مانند سیستم نظارت از راه دور سلامت، سیستم مراقبت از بیمار، برنامه تناسب اندام و سیستم مراقبت از سالمندان را دارد. استفاده از اینترنت اشیا پزشکی، پتانسیل خود را در مدیریت مراقبت از بیمار با کاهش هزینه نیروی انسانی و کاهش زمان معالجه، نشان داده است. بعلاوه، سیستم زمان‌بندی کارآمد را برای دسترسی بیمار به تجهیزات معالجه فراهم می‌کند. مطالعات اخیر بیان کرده‌اند که با افزایش سن جمعیت، شیوع بیماری‌های عصبی به‌طور تصاعدی در حال افزایش است. استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا برای خانه‌های هوشمند در سال‌های اخیر رواج یافته است و یکی از زمینه‌های اصلی کمک به افراد معلول و سالمندان است. بیماری پارکینسون^۲ (PD) یکی از بیماری‌های مزمن پیشرونده عصبی است که با اختلالات حرکتی ارتباط دارد. بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی^۳، جهان در حال حاضر هفت تا ده میلیون بیمار مبتلا به پارکینسون^۴ را تخمین زده است [۳]؛ که موارد زیادی از بیماری پارکینسون پیشرفته در میان افراد مسن گزارش شده است. یخ زدن راه رفتن (FOG)^۵ یک علامت حرکتی ناتوان‌کننده شایع در بیماران مبتلا به بیماری پارکینسون است [۴]. یخ زدن راه رفتن یک اتفاق اپیزودیک است که بر راه رفتن تأثیر می‌گذارد و باعث عدم انجام یا ادامه راه رفتن می‌شود و اغلب با بی‌حرکتی غیر منتظره یا لرزش پاها همراه است. [۵-۸].

یخ زدن راه رفتن با افتادن، آسیب دیدگی و کاهش تحرک کلی مرتبط است. دستگاه‌های مبتنی بر حسگر پوشیدنی می‌توانند یخ‌های در حال انجام را تشخیص دهند و نشانه‌ای برای کمک به فرد برای از سرگیری راه رفتن ارائه دهند. اگرچه این مفید است، اما پیش‌بینی اپیزودهای FOG قبل از شروع و ارائه یک نشانه به موقع ممکن است از

⁶ Body area wireless networks

⁷ Support Vector Machine (SVM)

⁸ Random Forest (RF)

⁹ Artificial Neural Network

¹ Internet of Medical Things (IOMT)

² Parkinson's disease (PD)

³ World Health Organization (WHO)

⁴ Patient with Parkinson's (PWP)

⁵ freezing of gait (FoG)



است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش‌های پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های یادگیری ماشین موجود، دقت بهتری دارند. مدل پیشنهادی در [۱۱] از روش‌ها و خدمات پیشرفته مانند داده کاوی تعبیه شده، ذخیره سازی توزیع شده و خدمات اطلاع رسانی در لبه شبکه استفاده می‌کند. روش انتقال داده مبتنی بر رویداد برای پردازش داده‌های بلادرنگ بیمار در لایه مه اتخاذ شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل مبتنی بر طبقه‌بندی کننده BBN پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌های طبقه‌بندی، دقت و زمان پاسخ بالایی در تعیین وضعیت یک رویداد دارد. علاوه بر این، تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های مراقبت‌های بهداشتی در زمان واقعی، کاربرد سیستم پیشنهادی را بیشتر افزایش می‌دهد. در [۱۲]، مدل LAS عملکرد پیش‌بینی مه مشابه با مدل دوطرفه به قیمت مقادیر مثبت کاذب کمی دارد. با توجه به مزایای سیستم‌های تک سنسور، افزایش نرخ مثبت کاذب ممکن است برای افراد مبتلا به PD قابل قبول باشد. بنابراین، یک سنسور فشار کف پای منفرد که روی LAS قرار می‌گیرد می‌تواند برای توسعه یک سیستم پیش‌بینی مه و تولید عملکردی مشابه یک سیستم دوطرفه استفاده شود.

استفاده از محاسبات ابری و اینترنت اشیا در این فرآیند می‌تواند نظارت بر بیماران را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد. در [۱۳] از یک سیستم اولویت‌بندی برای اولویت‌بندی اطلاعات حساس در اینترنت اشیا استفاده شده و در محاسبات ابری از شبکه عصبی عمیق LSTM برای طبقه‌بندی و نظارت بر وضعیت بیماران از راه دور استفاده می‌شود. یک راه حل یکپارچه نظارت بر مراقبت‌های بهداشتی برای سربازانی که در شرایط نامطلوب محیطی مستقر شده‌اند، با استفاده از اینترنت اشیا با محاسبات توزیع شده در [۱۴] پیشنهاد شده است. برای این سربازان، پارامترهای سلامتی هر فرد باید به صورت بلادرنگ پایش شود و تجزیه و تحلیل بعدی مجموعه داده‌ها برای شروع حمایت پزشکی مناسب با کمترین تاخیر ممکن انجام شود. در [۱۵] بهره برداری از طیف 5G ارائه می‌شود که در فرکانس 4/8 گیگاهرتز (یک باند فرکانس بالقوه چینی برای اینترنت اشیا) کار می‌کند تا اپیزودهای انجماد تجربه شده توسط بیماران PD را شناسایی کند. ایده اصلی استفاده از دستگاه‌های بی‌سیم مانند کارت رابط شبکه (NIC)، ژنراتور سیگنال فرکانس رادیویی (RF) و آنتن‌های دوقطبی برای استخراج ویژگی کانال بی‌سیم حاوی اطلاعات دامنه واریانس است که می‌تواند در سیستم ارتباطی 5G ادغام شود.

مقاله [۱۶] تلاشی برای اصلاح مدل انرژی دستگاه‌های مه در لبه شبکه با استفاده از مفهوم انرژی سبز و کاهش تاخیر و مصرف انرژی در چارچوب‌های چند حسی در سیستم‌های اینترنت اشیا پزشکی ایمن است. در روش پیشنهادی، یک الگوریتم ژنتیک (GA) برای رسیدگی به تعداد زیادی درخواست و محدودیت‌های کیفیت و امنیت مربوطه استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند به طور همزمان تاخیر و توان مصرفی دستگاه‌های لبه را در مقایسه با یک استراتژی پایه کاهش دهد. در [۱۷]، ابتدا سعی شده روش‌های استخراج و استنتاج ویژگی قوی فعلی را تطبیق داده و

گسترش دهد تا ویژگی‌های اضافی در مقایسه با ویژگی‌های موجود در حال حاضر لحاظ شود. سپس با اعمال انتخاب ویژگی با هدف به دست آوردن حداکثر نتایج تشخیص با استفاده از مجموعه داده DAPHNet موجود، یک قدم جلوتر می‌رود. این مجموعه داده با استفاده از یک سیستم کمکی سلامت پوشیدنی که از شتاب‌سنج ۳ محوری برای اندازه‌گیری حرکت بیمار تشکیل شده است، جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که روش‌های یادگیری ماشین پیشنهادی توانایی تشخیص FOG با حداکثر میانگین دقت، حساسیت، ویژگی و ناحیه زیر منحنی (AUC) تقریباً ۹۹ درصد را دارد. با هدف بهبود دقت طبقه‌بندی داده‌ها با پیاده‌سازی رویکردهای ترکیبی انتخاب ویژگی (FS) و یادگیری عمیق (DL) در زیرساخت محاسبات مه، در حالی که زمان پاسخ (RT) و استفاده از پهنای باند را کاهش می‌دهد، در [۱۸] بیان شده است. همچنین، هدف اصلی تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی حالات بیماران از راه دور از طریق فناوری‌های IOT، رایانش ابری و محاسبات مه است. زمان پردازش اطلاعات با اجرای بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم رقابتی امپریالیستی (ICA) در محاسبات مه برای انتخاب ویژگی‌های برجسته کاهش می‌یابد، و دقت طبقه‌بندی از طریق طبقه‌بندی داده‌های جدید توسط یک مدل شبکه عصبی عمیق (DNN) بهبود می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که دقت طبقه‌بندی و مانیتورینگ از راه دور بیماران ۹۸/۵۴ درصد است که بدون استفاده از الگوریتم PSO-ICA حدود ۴/۵ درصد بهتر است و همچنین به طور متوسط حدود ۱۰ درصد نسبت به سایر روش‌ها، مانند رگرسیون خطی (K, LR) نزدیکترین همسایگان (KNN)، شبکه عصبی (NN) و شبکه باور بیزی (BBN)، بهبود یافته است.

مقاله [۱۹]، یک روش یادگیری عمیق را برای تشخیص اپیزودهای FOG در بیماران PD پیشنهاد می‌کند. این مدل با استفاده از یک استراتژی جدید نمایش داده‌های طیفی آموزش داده شده که اطلاعات را از هر دو پنجره سیگنال قبلی و فعلی در نظر می‌گیرد. مدل یادگیری عمیق، ۹۰٪ برای میانگین هندسی بین حساسیت و ویژگی به دست آورد، در حالی که روش‌های پیشرفته نتوانستند از ۸۳٪ برای همان متریک پیشی بگیرند. در [۲۰]، انتخاب مکان سنسورهای شتاب، که حرکت بیمار را برای نظارت بر بیمار PD اندازه‌گیری می‌کند، با استفاده از چندین قسمت برای توسعه یک مدل وابسته به بیمار برای تشخیص FOG معرفی شد. طبقه‌بندی پیشنهادی با استفاده از تشخیص مه بر اساس ماشین بردار پشتیبان خطی به ویژگی‌های رتبه بندی شده با استفاده از روش انتخاب ویژگی نامحدود (IFS) برای تمایز بین رویدادهای انجماد و بدون انجماد اعمال شد.

تشخیص FOG را می‌توان به عنوان یک مشکل طبقه‌بندی در نظر گرفت. یک مشکل طبقه‌بندی مشخص می‌کند که مشاهدات جدید بر اساس مجموعه آموزشی داده‌ها به کدام یک از دسته‌بندی‌ها تعلق دارند. برای این منظور، طبقه‌بندی‌کننده‌های مختلفی شناسایی شده‌اند که از تجزیه و تحلیل آماری برای نتیجه‌گیری در مورد یک مشاهده استفاده

۲-۱- نگاشت‌ها

تابع $w = f(z)$ را می‌توان به عنوان یک تبدیل در نظر گرفت که هر نقطه از صفحه Z (صفحه x و y) را به نقطه‌ای از صفحه w (صفحه u و v) تبدیل می‌کند. چنین تبدیلی را نگاشت می‌خوانیم. قبل از معرفی نگاشت‌های مورد استفاده در این مطالعه، تعاریفی را ارائه می‌کنیم:

- نقاط ثابت نگاشت: نقاطی که بعد از نگاشت تغییری در آنها ایجاد نمی‌شود را نقاط ثابت نگاشت می‌خوانند و اگر تابع نگاشت به صورت $w = f(z)$ تعریف شود برای به دست آوردن نقاط ثابت نگاشت باید معادله $f(z) = z$ را حل کنیم.
- نگاشت همدیس: نگاشت $w = f(z)$ را در نقطه z_0 همدیس گویند اگر هر زاویه با رأس z_0 بدون تغییر منتقل شود. یعنی اندازه و جهت آن عوض نشود.
- قضیه: اگر تابع $f(z)$ در نقطه z_0 تحلیلی باشد و $f'(z)$ در این نقطه مخالف صفر باشد نگاشت $w = f(z)$ در نقطه z_0 همدیس خواهد بود.

۲-۱-۱- نگاشت خطی

این نگاشت با تبدیل $w = f(z) = a.z + b$ بیان می‌شود که در آن a و b اعداد حقیقی دلخواهی هستند. این تابع تام است و اگر a غیر صفر باشد. این نگاشت همه جا همدیس خواهد بود.

۲-۱-۲- نگاشت خطی کسری یا نگاشت موبیوس

نگاشت موبیوس $w = \frac{az+b}{cz+d}$ به نام نگاشت دوخطی نیز خوانده می‌شود. برای نگاشت موبیوس فرض می‌شود $\chi \neq 0$ است چرا که اگر $\chi = 0$ باشد، نگاشت تبدیل به یک نگاشت خطی خواهد شد. همچنین فرض دیگری نیز بر این نگاشت حاکم است: جهت اینکه تابع، تبدیل به یک ثابت عددی نشود $ad - bc \neq 0$ در نظر گرفته می‌شود. مشتق این نگاشت $w' = \frac{(ad-bc)}{(cz+d)^2}$ می‌باشد. این نگاشت همه جا به غیر از $z = -d/c$ همدیس می‌باشد. نگاشت موبیوس حاصل ترکیب نگاشت خطی، نگاشت معکوس و یک نگاشت خطی دیگر می‌باشد. این نگاشت خط و یا دایره را بدون رعایت ترتیب به خط و یا دایره تبدیل می‌کند.

۲-۲- سیستم منطق فازی

منطق فازی شکلی از منطق چند ارزشی است که در آن مقدار درستی متغیرها ممکن است هر عدد واقعی بین ۰ و ۱ باشد. از این منطق برای مدیریت مفهوم درستی جزئی استفاده می‌شود، که مقدار درستی ممکن است بین کاملاً درست و کاملاً نادرست باشد [۲۹]. در منطق بولی، مقادیر درستی متغیرها ممکن است فقط مقادیر صحیح ۰ یا ۱ باشد. اصطلاح منطق فازی با پیشنهاد نظریه مجموعه‌های فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده معرفی شد [۳۰-۳۱]. با این حال، منطق فازی از دهه ۱۹۲۰ به عنوان منطق بی‌نهایت ارزش به ویژه توسط تارسکای و

می‌کنند. بنابراین، یک ایده اولیه در مورد داده‌ها برای آموزش نمونه‌های مشاهده مورد نیاز است. از سویی دیگر، روزانه مقادیر بالایی از داده‌های بیمار و مراقبت‌های بهداشتی در اینترنت اشیا پزشکی تولید می‌شود. زمان پردازش و تجزیه و تحلیل کلان داده‌های دریافتی از دستگاه‌های حسگر در لبه و همچنین ارائه دقت لازم برای طبقه‌بندی داده‌ها از مهم‌ترین چالش‌های اینترنت اشیا پزشکی محسوب می‌شود. برای کاهش این کاستی‌های روش‌های موجود، این مقاله یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر نگاشت‌های تحلیلی ساده ترکیبی با منطق فازی و آموزش آنها با کمک الگوریتم‌های فراابتکاری، برای طبقه‌بندی یک مجموعه داده دافنت جهت تشخیص FOG پیشنهاد می‌کند. معماری سیستم تشخیص پیشنهاد شده به منظور کاهش پیچیدگی‌های سیستم تشخیص و انجام عملیات زمان واقعی تحت معماری اینترنت اشیا پزشکی معرفی شده است. این مدل تصمیم‌گیری با یک رویکرد یادگیری مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری در ترکیب منطق فازی ضمن افزایش سرعت یادگیری برای یک مجموعه داده بزرگ، دقت آموزش را هم بالا برده است. سیستم ارائه شده بعد از آموزش تنها یک نگاشت خطی یا نگاشت کسری موبیوس می‌باشد که در هر لحظه از زمان با کمترین پیچیدگی در سطح محاسبات مه قابل برنامه‌ریزی و مدلسازی است. این عمل به کاهش تاخیر برای محاسبات تشخیص FOG کمک فراوانی خواهد کرد. این روش، چندین ویژگی عملکرد را جمع‌آوری می‌کند تا به یک تصمیم کمی برسد، بنابراین بر معایب روش‌های موجود که به طور کلی نیاز به تجزیه و تحلیل آماری دقیق دارند، غلبه می‌کند.

سهم‌های اصلی این کار به شرح ذیل می‌باشد:

- طراحی یک معماری هوشمند با کمترین پیچیدگی برای دستیابی به یک سیستم تشخیص یخ‌زدگی در راه رفتن FOG برای بیماران پارکینسون PD در زمان واقعی.
- بهبود عملکرد سیستم آموزش مدل پیشنهادی برای افزایش دقت طبقه‌بندی با کمک الگوریتم‌های Fuzzy-ISSA و TSO با توجه به تعداد بسیار زیاد اطلاعات آموزش.
- استفاده از منطق فازی نوع تاکاگی سوگنو برای ایجاد یک خروجی چند سطحی برای سیستم تشخیص FOG جهت کلاسه‌بندی سیستم برای داده‌های مختلف.
- بهره‌گیری از نگاشت‌های ساده خطی و موبیوس برای بهبود عملکرد طبقه‌بندی.
- بهبود عملکرد الگوریتم SSA با کمک یک سیستم منطق فازی نوع ممدانی.

۲- مفاهیم

در این قسمت به معرفی مفاهیم اصلاح شده از روش‌ها و الگوریتم‌های به کار رفته در این کار، می‌پردازیم.



که در آن ub_j, lb_j, r, c_2 و c_3 کران بالایی و پایینی فضای جستجو و پارامترها به تعداد تصادفی یکنواخت بین ۰ و ۱ هستند، که در SSA جاسازی شده‌اند. پارامتر c_1 بر اساس [۳۷] محاسبه می‌شود:

$$c_1 = 2 \cdot e^{-\left(\frac{4t}{T}\right)^2} \quad (2)$$

که در آن t تکرار جاری و T حداکثر تکرارهایی است که باید تنظیم شوند. برای موقعیت هر فالوور سالپ‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$x_j^i = \frac{1}{2} \cdot (x_j^i + x_j^{i-1}), i \geq 2 \quad (3)$$

۲-۴- بهبود الگوریتم ازدحام سالپ با منطق فازی (Fuzzy-ISSA)

در SSA، پیروان سالپ توسط رهبر هدایت می‌شوند تا نتیجه بهینه را بر اساس ناحیه راه‌حل امکان‌پذیر جستجو کنند. در این حالت با تفاوت بین کران بالا و پایین متغیرهای کنترل شناسایی شده محاسبه می‌شود. در حل مسائل بهینه‌سازی، تعادل بین اکتشاف و بهره‌برداری باید از (۳) تعیین شود. می‌توان مشاهده کرد که توانایی اکتشاف SSA محدود است. به منظور افزایش قابلیت‌های اکتشاف بهره‌برداری از SSA اصلی، از یک مدل بهبود یافته فازی استفاده خواهد شد. اولین نسخه پیشرفته در (۴) انجام شده، که در آن تنظیمات مرز پایین حذف می‌شود تا ظرفیت فرآیند برای استفاده از منابع بهبود یابد، که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + c_1 \left((ub_j - lb_j) c_2 \right), c_3 \geq r \\ F_j - c_1 \left((ub_j - lb_j) c_2 \right), c_3 < r \end{cases} \quad (4)$$

به منظور افزایش قابلیت اکتشاف SSA اصلی، بهبود دیگر اجرا شده که در آن بیان، پیروان در (۳) به (۵) که در آن سیستم فازی fuzzySSA نوع ممدانی به عنوان تابع میانگین‌گیر فازی در محدوده [۰، ۱] طبق سیستم فازی تعریف شده محاسبه می‌شود:

$$x_j^i = (ub_j - lb_j) \times fuzzySSA(x_j^i, x_j^{i-1}) + lb_j, i \geq 2 \quad (5)$$

مبنای تعریف قوانین فازی بر اساس ارائه یک مدل میانگین فازی از دو مقدار قبلی می‌باشد. ورود سیستم فازی بعد از نرمال‌سازی محاسبه و اعمال می‌شود. در شکل (۱) نمای کلی سیستم فازی به همراه توابع عضویت ورودی و خروجی به همراه مشخصه ورودی و خروجی آورده شده است. در جدول (۱) هم قوانین فازی اشاره شده است.

جدول (۱): قوانین حاکم بر سیستم منطق فازی

X1	X2	Output
Low	Low	L
Low	Mid	LM
Low	High	M
Mid	Low	LM
Mid	Mid	M
Mid	High	MH
High	Low	M
High	Mid	MH
High	High	H

تاکاسیویس^۱ مورد مطالعه قرار گرفته بود [۳۲]. منطق فازی مبتنی بر مشاهده است که افراد بر اساس اطلاعات غیردقیق و غیرعددی تصمیم می‌گیرند. مدل‌های فازی یا مجموعه‌های فازی، ابزارهای ریاضی برای نمایش اطلاعات مبهم و نادقیق هستند. از این رو اصطلاح فازی به کار برده می‌شود. این مدل‌ها قابلیت تشخیص، بازنمایی، دستکاری، تفسیر و استفاده از داده‌ها و اطلاعات مبهم و فاقد قطعیت را دارند [۳۳-۳۴].

۲-۲-۱- ممدانی

نظام قاعده محور ممدانی از قوانین زیر استفاده می‌کند [۳۵]:

- فازی‌سازی: فازی کردن تمام مقادیر ورودی در توابع عضویت فازی.
- قانون فازی: برای محاسبه توابع خروجی فازی، تمام قوانین قابل اجرا در پایگاه قوانین اجرا می‌شود.
- دفازی‌سازی: توابع خروجی فازی را غیرفازی کنید تا مقادیر خروجی واضح به دست آید.

۲-۲-۲- تاکاگی - سوگنو - کانگ (TSK)

سیستم TSK [۳۶] مشابه ممدانی است، اما فرآیند فازی‌سازی در اجرای قوانین فازی گنجانده شده است. اینها همچنین به گونه‌ای تطبیق داده شده‌اند، که در عوض نتیجه قاعده از طریق یک تابع چند جمله‌ای (معمولاً ثابت یا خطی) نشان داده می‌شود. یک مثال از یک قانون با خروجی ثابت می‌تواند به صورت زیر باشد: اگر دما خیلی سرد است یعنی در این حالت، خروجی برابر با ثابت نتیجه (مثلاً ۲) خواهد بود. در اکثر سناریوها، ما یک پایه قانون کامل، با دو یا چند قانون خواهیم داشت. در این صورت، خروجی کل پایه قانون، میانگین نتیجه هر قانون i (Y_i) خواهد بود که بر اساس مقدار عضویت پیشین آن (h_i) وزن داده می‌شود و با $\frac{\sum_i (h_i \cdot Y_i)}{\sum_i h_i}$ تعریف می‌شود.

۲-۳- الگوریتم ازدحام (SSA) SALP

الگوریتم ازدحام سالپ^۲ (SSA) را می‌توان به عنوان یک الگوریتم الهام گرفته از زیست‌شناسی عملی طبقه‌بندی کرد، که توسط میرجلیلی ابداع شده است [۳۷]. اساس توسعه الگوریتم از جهت‌یابی و جستجوی سالپ در اقیانوس‌ها است. دو گروه در SSA انجام می‌شود که می‌توان آنها را به عنوان رهبر و پیروان تعریف کرد. نامزد حل بر اساس موقعیت سالپ‌ها در جهت‌یابی و جستجوی غذا است، معمولاً برای بهینه‌سازی مسئله به عنوان ماتریس دو بعدی به نام X نظر گرفته می‌شود. بهترین راه حل فعلی منبع غذایی، F_j نامیده می‌شود و موقعیت رهبر سالپ‌ها، x_j^1 بر اساس عبارات زیر به روز می‌شود:

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + c_1 \left((ub_j - lb_j) c_2 + ljb_j \right), c_3 \geq r \\ F_j - c_1 \left((ub_j - lb_j) c_2 + ljb_j \right), c_3 < r \end{cases} \quad (1)$$

² SALP Swarming Algorithm (SSA)

¹ Łukasiewicz و Tarski



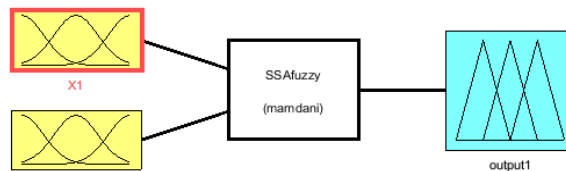
روش معروف اکتشاف سیاره فراخورشیدی پیشنهاد شده است. بیش از ۳۸۰۰ سیاره با استفاده از روش گذر توسط پایگاه داده تلسکوپ‌های فضایی شناسایی شده است. ترانزیت روشی است که پتانسیل بیشتری نسبت به دومین روش موفق شناخته شده (سرعت شعاعی) با ۹۱۵ سیاره کشف شده تا مارس ۲۰۲۲ نشان داده است. تشخیص سیارات به دلیل ابعاد کوچک آنها در مقیاس کیهان دشوار است. با توجه به کارایی بالای روش ترانزیت در اختریف‌های و قابلیت‌های آن، برای تدوین روش بهینه‌سازی در این تحقیق استفاده شده است. در الگوریتم ترانزیت، با مطالعه نور دریافتی از ستارگان در فواصل زمانی معین، تغییرات درخشندگی بررسی می‌شود و اگر کاهشی در مقدار نور دریافتی مشاهده شود، نشان دهنده عبور سیاره‌ای از جبهه ستاره است.

۳- روش پیشنهادی

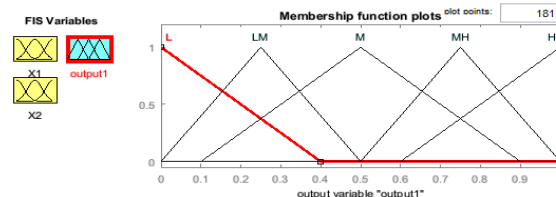
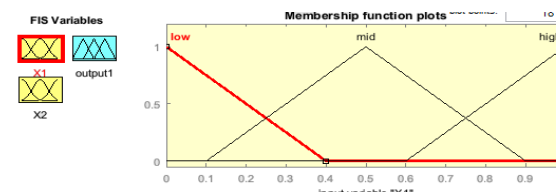
در میان علائم حرکتی بیماری پارکینسون، یخ زدن در هنگام راه رفتن (FOG) ممکن است ناتوان کننده‌ترین نوع بیماری باشد. دوره‌های مه ممکن است منجر به زمین خوردن و کاهش کیفیت زندگی بیماران شود. ارزیابی دقیق FOG اطلاعات عینی را در مورد وضعیت بیمار و ویژگی‌های علائم در اختیار متخصصان مغز و اعصاب قرار می‌دهد، در حالی که می‌تواند پشتیبانی غیردارویی را بر اساس نشانه‌های ریتمیک فعال کند. سنسورهای پوشیدنی وسیله‌ای ارزشمند برای تشخیص FOG در محیط خانه هستند. علاوه بر این، بازخورد بلادرنگ ثابت کرده است که به کاهش مدت زمان قسمت‌های FOG کمک می‌کند. این کار یک الگوریتم تشخیص FOG بی‌درنگ قوی را پیشنهاد می‌کند، که اجرای آن در دستگاه‌های مستقلی که در شرایط بدون نظارت کار می‌کنند آسان است. با توجه به حجم بسیار بالای اطلاعاتی که در این راستا برای پردازش جهت تشخیص FOG در هر لحظه ارسال می‌شود، می‌تواند از چالش‌های پیش رو برای ارائه یک معماری در شبکه IOMT باشد. بنابراین، این کار به دنبال ارائه یک سیستم طبقه بندی هوشمند و با پیچیدگی‌های بسیار کم برای تشخیص FOG برای افراد مختلف است، تا بتواند با کمترین تأخیر رخداد یخ زدگی را به بیمار پارکینسون هشدار دهد تا در اسرع وقت بیمار را از افتادن ناگهانی نجات دهد. بر این اساس، طراحی یک مدل زمان واقعی از اهداف این روش پیشنهادی می‌باشد. شکل (۲) نمای بلوک دیاگرام طرح پیشنهادی بر اساس یادگیری با الگوریتم‌های فراابتکاری نمایش داده شده است. در ادامه روش‌های به کار رفته در این مقاله تشریح شده است.

۳-۱- نگاهت اطلاعاتی

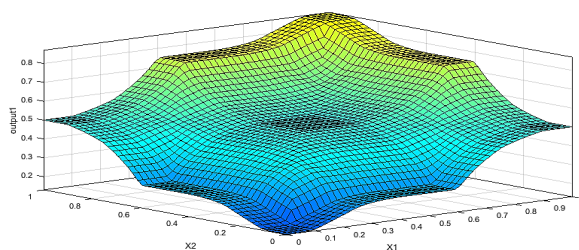
مجموعه داده‌های بزرگ ممکن است حاوی داده‌های اضافی باشد. روش‌های انتخاب متغیر که بیشترین متغیرهای مرتبط را در مجموعه داده انتخاب می‌کنند، تعامل بین متغیرها را در نظر نمی‌گیرند. روش‌های نگاهت داده برای انتقال داده‌های اصلی به یک بعد جدید و گرفتن مهم‌ترین اطلاعات در مجموعه داده استفاده می‌شود. این جابجایی



الف

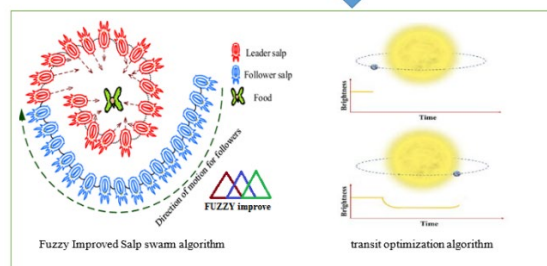
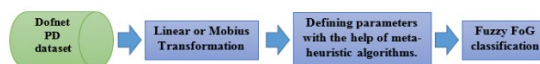


ب

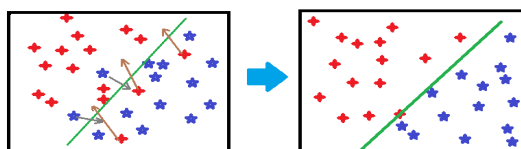


ج

شکل (۱): الف- نمای سیستم منطق فازی مددانی. ب- نمایش توابع عضویت ورودی و خروجی. ج- مشخصه ورودی و خروجی سیستم میانگین گیری فازی.



شکل (۲) نمای بلوک دیاگرام طرح پیشنهادی.



شکل (۳): نمایش تأثیر نگاهت های موفق برای طبقه بندی اطلاعات

۲-۵- الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی سیاره TSO

در [۳۸] یک الگوریتم بهینه‌سازی فرااکتشافی جدید با الهام از اختریف‌های، یعنی جستجوی ترانزیت سیاره‌یاب (TS) بر اساس یک



اطلاعات نیاز حیاتی به روش‌های استاندارد شده برای بهبود دقت و تکرارپذیری نتایج را برجسته می‌کند. نگاشت داده‌های موبیوس می‌تواند برخی از چالش‌های ذکر شده را کاهش دهد، اما استفاده از آنها در وظایف یادگیری ماشین تا حد زیادی ناشناخته مانده است. هدف ما استفاده حداکثری از تاثیر نگاشت‌های داده‌های مختلف بر دقت، تعمیم‌پذیری و انتخاب ویژگی با استفاده از تجزیه و تحلیل با استفاده از بیش از ۱۵۰۰۰۰ نمونه از مجموعه داده حرکت افراد تحت اطلاعات ۱۰ نفر در دافنت خواهد بود. یافته‌های ما امکان تمایز بین حالت‌های رخداد FOG در بیمار پارکینسون را با استفاده از داده‌های آموزشی با حداقل پیچیدگی موجود تحت شبکه IOMT نشان می‌دهد. به طور قابل توجهی، تعیین ضرایب نگاشت موبیوس برای مجموعه داده مورد مطالعه برای طبقه‌بندی دقیق بسیار مهم است.

نکته مهم در مساله پردازش‌های اطلاعات دسته‌بندی و خوشه‌بندی مجموعه داده‌ها در کنار یکدیگر می‌باشد. بر این اساس رویکرد نگاشت همدیس برای اطلاعات به طبقه‌بندی و مرزبندی بهتر اطلاعات می‌رسد. شکل (۳) به معرفی این تاثیر برای جابجایی اطلاعات می‌پردازد. با این کار می‌توانیم بیشترین انحراف اطلاعاتی را برای بهبود طبقه‌بندی داشته باشیم. همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، با جابجایی الگوهای ورودی در جهت یک اصلاح طبقه‌بندی قابل قبول می‌توان به سیستم‌های یادگیری ماشین کمک کرد تا سیستم با دقت بالاتر طبقه‌بندی را انجام دهد و داده‌های ناهنجار را به سمت داده‌های هنجار جابجا کند. البته با کمک یک انتقال در فضای دو بعدی مطابق شکل می‌توان به یک چارچوب بهینه رسید که در آن تعداد خطاهای داده‌های طبقه بندی را کاهش داد. حال بایستی بدانیم در این کار برای یک نگاشت خطی یا موبیوس پیشنهادی از چه پارامترهایی استفاده خواهد شد. برای محاسبه این پارامترها از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است. سه الگوریتم در این کار استفاده شده است که در ادامه بررسی می‌شود.

۳-۲- آموزش و تعیین ضرایب نگاشت موبیوس و خطی با کمک الگوریتم‌های فراابتکاری

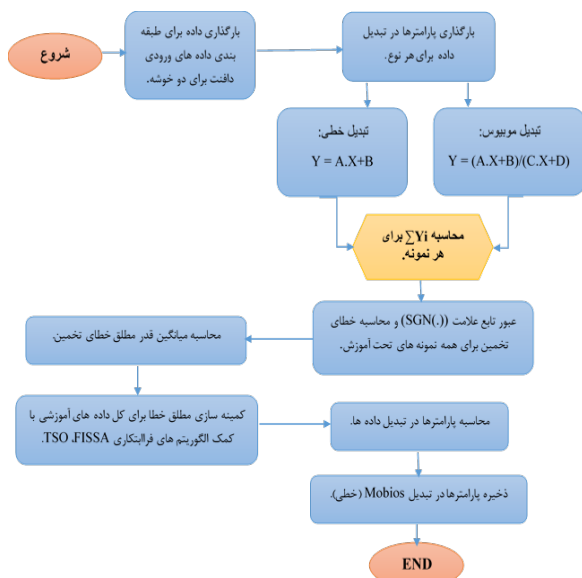
در این مرحله برای طبقه‌بندی مجموعه داده‌های مورد تست بعد از دو نگاشت خطی و موبیوس به منظور داشتن یک دقت بالا برای طبقه بندی از دو الگوریتم TSO و الگوریتم SSA بهینه‌شده فازی استفاده خواهیم کرد. این دو الگوریتم با تعریف ضرایب و پارامترهای نگاشت‌ها برای هر یک از متغیرهای داده‌های تست که در این مجموعه دافنت شامل ۱۰ متغیر ورودی است تلاش می‌کند به یک کلاسه‌بندی دو طبقه دست یابد. شکل (۴) نحوه آموزش سیستماتیک طرح پیشنهادی برای شبکه نگاشت را نمایش داده است.

مطابق شکل (۴) بعد از بارگذاری پارامترها به‌عنوان متغیرهای تابع هدف، برای مینیمم کردن تابع از یک الگوریتم پیشنهادی برای اصلاح ضرایب نگاشت‌ها تا رسیدن به حداکثر دقت طبقه‌بندی دو دسته، استفاده می‌شود. شبه کد مربوط به تابع شبکه به‌دست آمده برای سیستم تخمین

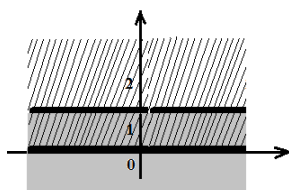
FOG مبتنی بر نگاشت موبیوس مطابق شکل (۳) آورده شده است. نکته قابل توجه در این مقاله این است که برای ایجاد یک نتیجه مفید از نگاشت موبیوس تلاش شده که از یک حلقه تکرار تودرتو برای ایجاد نگاشت‌های چندوجهی بهره ببریم تا بتوانیم یک رمزگذاری قابل قبول برای داده‌های ارسالی تحت شبکه IOMT داشته باشیم. همچنین بتوانیم در مسیر پردازش اطلاعات با موفقیت عمل کنیم.

مشکل مهم و قابل توجه در این روش طبقه‌بندی پیشنهادی این است که در روش پیش رو ما برای کلاسه‌بندی اطلاعات به دو دسته برنامه ریزی کرده‌ایم. اما سیستم مورد مطالعه دارای خوشه‌ها چندگانه می‌باشد. وقتی تعداد طبقات اطلاعات افزایش می‌یابد، ما از یک رویکرد منطقی برای طبقه‌بندی بهره خواهیم برد. در این روش ما برای مجموعه داده‌های دافنت سه کلاس خروجی ۰ و ۱ و ۲ داریم. برای حل این مساله ما داده‌های مربوط به اطلاعات لحظه‌ای بیماران پارکینسون را در دو گروه بررسی می‌کنیم. خروجی این مجموعه داده‌ها برای گروه‌ها مطابق جدول (۲) بخش‌بندی می‌شود. سپس هر کدام از این مجموعه داده‌ها جداگانه آموزش و مقاردهی می‌شود. نتایج خروجی حاصل از این سیستم‌های آموزش دیده برای خروجی نهایی مطابق (۶) محاسبه می‌گردد. شکل (۵) نمایش فضایی این روش را برای یک مجموعه داده دو بعدی جهت تفهیم این کار نمایش داده است.

$$Final\ system = \frac{(system1 + system2 + 2)}{2} \quad (6)$$



شکل (۴): نمایش فلوجارت آموزش معماری پیشنهادی تشخیص FOG جهت طبقه‌بندی به دو دسته

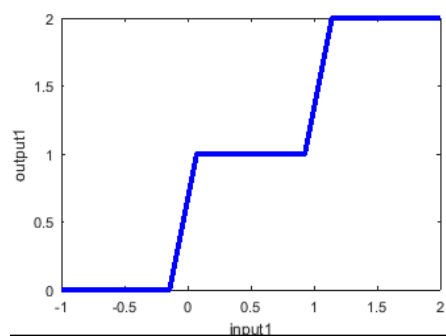


شکل (۵): نحوه برنامه‌ریزی افزایش تعداد طبقات.

۳-۳- طبقه بندی فازی FOG

هر چند این رویکرد طبقه بندی منطقی مفید واقع شده است اما با افزایش تعداد طبقات، کلاسه بندی مساله را پیچیده کرده و زمان تخمین را افزایش خواهد داد؛ چون نیازمند یک سری سیستم های تخمین مجزا در شبکه خواهد بود. همچنین این تخمین با رویکرد چند سیستمی نیاز به تعداد اجزای بیشتر برای هر طبقه به صورت مجزا خواهد داشت. بنابراین در این کار یک روش طبقه بندی فازی نوع تاکاگی سوگنو در آخر تابع هدف ارائه شده، که جایگزین تابع علامت (SGN) شود. بر اساس این سیستم منطق فازی پیشنهادی به یک نگاشت چند کلاسه می رسد. شکل (۶) ساختار سیستم فازی تشخیص FOG را برای سه کلاس مختلف برای مطالعه این کار ارائه کرده است. در این شکل ساختار توابع عضویت ورودی و مشخصه ورودی و خروجی ارائه شده است. قوانین فازی حاکم بر آن در جدول (۳) آورده شده است.

برای روش فازی پیشنهاد شده در این تحقیق به جای اجرای سیستم های مختلف و کلاسه بندی در فضای تابع سیگموئید که با افزایش تعداد طبقات تعداد سیستم ها را افزایش می دهد، از یک تابع فازی چند کلاسه بهره خواهد برد. در این کار به جای وزن دهی ویژگی ها برای دو کلاس مختلف، از یک سیستم منطق فازی با بازه های مختلف برای کلاس های مختلف در یک اجرای سیستماتیک توسط الگوریتم های طبقه بندی مانند TSO و Fuzzy-ISSA بهره خواهد برد.



شکل (۶): مشخصه ورودی و خروجی سیستم میانگین گیری فازی.

جدول (۲): عملکرد سیستم پیشنهادی برای سیستم های مختلف.

سیستم اول	سیستم دوم	سیستم نهایی
-1	-1	0
-1	1	1
1	1	2

جدول (۳): قوانین حاکم بر سیستم منطق فازی

Input	Output
Low	M1
Mid	M2
High	M3

۴- تجزیه و تحلیل تجربی

اعتبار روش های پیشنهادی مبتنی بر تحلیل رابطه نگاشت خطی یا موبیوس آموزش دیده با الگوریتم های بهینه سازی پیشنهادی و طبقه بندی فازی، از طریق تحلیل تجربی بر روی مجموعه داده های انجام دافت راه رفتن نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل با استفاده از MATLAB R2016b انجام شده است. نتیجه با روش های معروف یادگیری ماشینی، مانند ماشین بردار پشتیبان (SVM) و جنگل های تصادفی (RF) مقایسه شده است.

۴-۱- شرح مجموعه داده FOG

مجموعه داده ها معیاری برای تشخیص یخ زدگی راه رفتن، از حسگرهای شتاب پوشیدنی است، که روی پاها و لگن ۱۰ بیمار قرار داده شده است [۳۹]. آن ها کارهایی مانند راه رفتن در خط مستقیم و فعالیت های واقعی تر مانند گرفتن قهوه و باز کردن درها را انجام دادند. مجموعه داده ها نتیجه همکاری آزمایشگاه محاسبات پوشیدنی، ETH زوریخ سوئیس است. سه کلاس وجود دارد که نتیجه نهایی در آنها تقسیم شده است: کلاس ۱ برای بدون انجام، کلاس ۲ برای فریز و کلاس ۰ برای نمونه-هایی که بخشی از آزمایش نیستند. برای آزمایش، هر سه کلاس در نظر گرفته شده است، ولی دقت پیش بینی فقط برای کلاس های ۱ و ۲ انجام می شود. همچنین تجزیه و تحلیل برای دو مجموعه داده به دست آمده به ترتیب با انتخاب تصادفی ۸۵۱۶ نمونه و ۱۷۰۶۳ نمونه از ۱۵۰۰۰ نمونه در مجموعه داده ها انجام شده از بیمارارن مختلف ارائه شده است.

۴-۲- سنجش عملکرد

برای آزمایش های وابسته به موضوع، داده های آموزشی و آزمایشی هر دو از یک دسته بیمارارن هستند. طرح های اعتبارسنجی متقابل ۱۰ متغیری بر روی ویژگی های مهم از طریق هر راه حل طبقه بندی ارائه شده در بخش قبلی اجرا شد. در ارزیابی اعتبار متقابل ۱۰ متغیری، داده ها به طور تصادفی در دو بخش آموزش و تست بررسی می شوند. یک بخش به عنوان مجموعه آزمایشی انتخاب می شود، در حالی که داده های باقیمانده به عنوان مجموعه آموزشی انتخاب می شود. سپس ارزیابی برای نگاشت ۳ بار تکرار می شود، که این کار برای انجام نگاشت قابل تفکیک سیستم می شود. هر بخش از داده ها یک بار به عنوان داده ارزیابی استفاده می شود و دقت نهایی بعد از ۳ تکرار به دست می آید.

در آزمایش مستقل از موضوع، طبقه بندی کننده ها بر روی ویژگی های انتخاب شده از افراد مختلف آموزش دیدند و عملکرد بر روی افراد باقی مانده آزمایش شد. برای اعتبارسنجی متقاطع ۱۰ برابری و مستقل از موضوع، دقت طبقه بندی (ACC)، حساسیت (SE)، ویژگی (SP) و ناحیه زیرمنحنی (AUC) برای آزمایش عملکرد روش پیشنهادی، همانطور که در (۷-۱۱) تعریف شده استفاده شد. این چهار معیار عملکرد بر اساس ماتریس سردرگمی همانطور که در جدول (۴) ارائه شده است، تعریف شده است.



SVM و FISSA و MT-TSO عمل می‌کنند. شایان ذکر است که اگرچه SVM یک نتیجه ۱۰۰٪ را برای حساسیت نشان می‌دهد، ویژگی اندازه‌گیری شده توسط SVM ۰٪ است و عملاً آن را غیرممکن می‌کند. بنابراین، برای تعیین اینکه کدام طبقه‌بندی‌کننده کلاس‌ها را به بهترین شکل پیش‌بینی می‌کند، مفهوم ناحیه تحت یک منحنی مشخصه عملیاتی گیرنده (ROC) در نظر گرفته می‌شود. منطقه تحت مشخصه عملیاتی گیرنده (AUROC) یک آمار خلاصه برای خوب بودن یک طبقه‌بندی‌کننده در یک کار طبقه‌بندی باینری است.

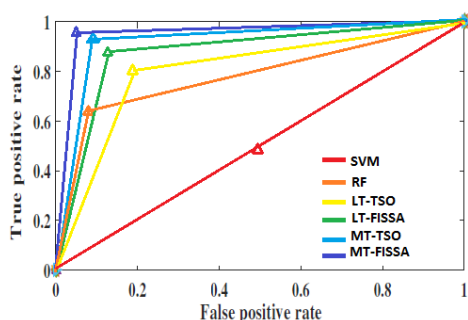
این نتیجه ابهامی را که معیارهای مختلف ممکن است ایجاد کنند برطرف می‌کند. شکل (۷) منحنی‌های ROC را نشان می‌دهد که عملکرد طبقه‌بندی‌کننده‌ها را در تمام آستانه‌های ممکن خلاصه می‌کند. منحنی‌ها با ترسیم نرخ مثبت واقعی (حساسیت) در برابر نرخ مثبت کاذب (ویژگی ۱) ایجاد می‌شوند. از نتایج مقادیر AUROC گزارش شده در جدول (۶)، به وضوح می‌توان مشاهده کرد که در مقایسه با سایر طبقه‌بندی‌کننده‌های پیشرفته، روش‌های پیشنهادی (MT-FISSA و MT-TSO) عملکرد رقابتی بهتری دارند. از نظر مقادیر AUROC، MT-FISSA بهبود ۱۲/۴٪ نسبت به RF، ۷/۱۳۷٪ نسبت به SVM، و ۷۸/۳۲٪ نسبت به MT-TSO، در حالی که FISSA برای مجموعه داده تشخیص FOG برای بیماران پارکینسون را نشان می‌دهد، در حالی که LT-FISSA بهبودی ۱۱/۲۲٪ نسبت به RF، ۷/۵۱٪ نسبت به MT-TSO، و ۷۸/۹۴٪ بیش از SVM و ۱/۱۶٪ نسبت به MT-TSO. شکل (۸) نمایش نمودار میله‌ای را برای سیستم‌های مورد مطالعه ایجاد کرده است.

جدول (۴): ماتریس سردرگمی

مقادیر	پیش‌بینی شده مثبت	پیش‌بینی شده منفی
واقعی مثبت	مثبت درست (TP)	منفی غلط (FN)
واقعی منفی	مثبت غلط (FP)	منفی درست (TN)

جدول (۵): توضیحات مجموعه داده

کل	عدم انجماد	حالت انجماد	تعداد مجموعه های داده
۹۲۸۰۲	۸۷۶۵۵	۵۱۴۷	



شکل (۷): ROC تشخیص FOG برای مجموعه داده دافنت.

$$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100 \quad (7)$$

$$SE = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \quad (8)$$

$$SP = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \quad (9)$$

$$AUROC = \frac{SE+SP}{2} \quad (10)$$

در تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی باینری، F1-Score پارامتر دیگری برای اندازه‌گیری دقت یک آزمون است، که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F1 - Score = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN} \quad (11)$$

در این ماتریس سردرگمی، TP مجموع موارد مثبت واقعی است که FOG را به طور دقیق به عنوان FOG نشان می‌دهد. FP، کل مثبت کاذب که نشان دهنده غیر FOG است که به درستی به عنوان FOG شناسایی نشده است. TN، مجموع منفی‌های واقعی، که نشان دهنده غیر FOG است که به طور دقیق به عنوان غیر FOG شناسایی شده است. FN، کل منفی کاذب، که نشان دهنده FOG است که به درستی به عنوان غیر FOG شناسایی نشده است. و AUC ناحیه زیر منحنی مشخصه عملکرد گیرنده^۱ (ROC) است که نرخ مثبت واقعی و نرخ منفی واقعی را نمایش می‌دهد. نکته مهم این است که این روش حالت "۰" را هم برای داده‌های غیر آزمایشی طبقه‌بندی می‌کند. سپس برای محاسبه معیارها تنها حالت‌های ۱ و ۲ بررسی می‌شود؛ یعنی شناسایی برای همه حالت‌ها در سیستم بررسی می‌شود اما بررسی معیارهای تعریف شده فقط برای حالت‌های رخداد یا عدم رخداد یخ‌زدگی، انجام می‌شود.

۳-۴- نتایج شبیه سازی

جدول (۶) مقادیر معیارهای مختلف روش‌های پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها، SVM و RF را برای مجموعه داده‌های مختلف همانطور که در جدول (۵) ارائه شده، بیان کرده است. از جدول (۶) می‌توان دریافت که MT-FISSA بهترین دقت را برای مجموعه داده دارد. مقدار AUROC نشان می‌دهد که MT-FISSA و LT-FISSA در مقایسه با سایر طبقه‌بندی‌کننده‌ها عملکرد بهتری دارند. RF عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌های یادگیری ماشینی موجود SVM دارد. به دلیل روش یادگیری گروهی آن که از بخش‌بندی استفاده می‌کند.

با استفاده از محاسبه ضریب دقت طبقه‌بندی^۲ (ACC) که نسبت هر کلاس از ماتریس سردرگمی را در نظر می‌گیرد، می‌توان مشکل عدم در نظر گرفتن تمام متغیرهای جدول (۶) را حل کرد. مقدار ACC نیز برتری MT-FISSA و MT-TSO را نسبت به سایر طبقه‌بندی‌کننده‌ها تأیید می‌کند. با این حال، هنگامی که سایر معیارهای عملکرد در نظر گرفته می‌شود، نتایج متفاوتی وجود دارد. به عنوان مثال، از جدول (۶) مشاهده می‌شود که از نظر حساسیت، SVM و RF بهتر از MT-

² Accuracy Classification coefficient

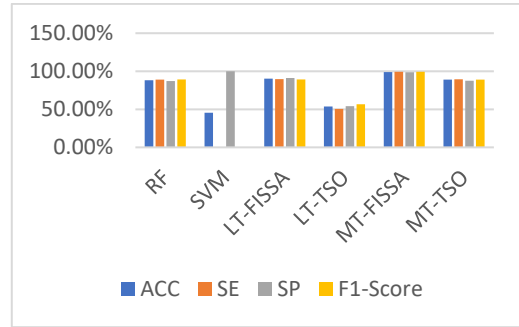
¹ Receiver operating characteristic



جدول (۶): نتایج برای مجموعه توالی مرجع برای مجموعه داده مورد مطالعه.

	RF	SVM	LT-FISSA	LT-TSO	MT-FISSA	T-TSO
ACC	88.17%	45.43%	90.34%	53.76%	98.95%	88.96%
SE	89.05%	0	89.67%	50.56%	99.34%	89.47%
SP	87.10%	100%	91.05%	54.13%	98.62%	87.06%
F1-Score	0.8914	nan	0.8923	0.5672	0.9932	0.8912
AUROC	0.8806	0.5	0.9036	0.52345	0.9898	0.88515

روش‌های پیشنهادی نشان می‌دهد که آنها از روش‌های یادگیری ماشین موجود از نظر دقت (بالای ۹۰٪ است)، امتیاز F1، ACC و همچنین از نظر عملکرد کلی که توسط نتایج AUROC منعکس می‌شود، بهتر عمل می‌کنند. از همه مهمتر سادگی مدل نهایی سیستم بعد از آموزش می‌باشد که کاربرد آن را برای سیستم‌های زمان واقعی بیشتر آشکار می‌کند. در نهایت به خاطر استفاده از این استراتژی تأخیر در پیش‌بینی وضعیت اضطراری کاهش می‌یابد. در آینده، نویسندگان مایلند یک طبقه‌بندی‌کننده ترکیبی بر اساس الگوریتم‌های خوشه‌بندی با برخی دیگر از روش‌های یادگیری ماشین غیرپارامتری موجود برای بهبود بیشتر نتایج روش تشخیص FOG پیشنهادی ایجاد کنند.



شکل (۸): نمایش نمودار میله‌ای نتایج جدول (۶)

۵- نتیجه‌گیری

مزیت مهم این رویکرد پیشنهادی سادگی در اجرای سخت‌افزاری سیستم‌های نگاشت و توابع سیستم بعد از آموزش تحت الگوریتم‌های پیشنهادی است. با توجه به الزامات پیاده‌سازی، استقرار یک سیستم واقعی (بر اساس مدل پیشنهادی) مطمئناً مؤثر است زیرا شامل هیچ تحلیل آماری پیچیده یا آستانه برای به دست آوردن یک تصمیم نیست. علاوه بر این، مستقل از هر گونه تخصیص احتمالی است. مزیت اصلی مدل پیشنهادی عملکرد متعادل است. برخلاف رویکردهای موجود، عدم تعادل بالایی بین ویژگی و حساسیت در مدل پیشنهادی قابل مشاهده نیست. علاوه بر این، مدل مبتنی بر اینترنت اشیا به هیچ سیستم کامل اصلی به جز حسگرهای بدن و اشیاء هوشمند برای جمع‌آوری داده‌ها برای تشخیص انجماد راه رفتن نیاز ندارد. مدل سخت‌افزاری مورد نیاز نیز مقرون به صرفه است. نصب سنسورهای شتاب و دروازه اینترنت اشیا برای پردازش داده‌های ورودی از طریق یک اتصال اینترنتی پایدار نیازی به هزینه بالایی ندارد. نیاز به یک هدفون ساده برای ارائه سیگنال‌های شنیداری خروجی برگشت داده شده برای هوشیار کردن بیمار و توانبخشی راه رفتن نیز، پرهزینه نیست.

این مقاله یک روش طبقه‌بندی مبتنی بر نگاشت خطی یا موبیوس و نسخه مجموعه آن با استفاده از سیستم کلاسه‌بندی منطق فازی برای تشخیص و طبقه‌بندی وجود انجماد راه رفتن (FOG) در یک بیمار مبتلا به بیماری پارکینسون در محیط اینترنت اشیا پیشنهاد کرده است. روش‌های پیشنهادی مستقل از هر گونه تخصیص احتمالی یا تجزیه و تحلیل آماری پیچیده برای تصمیم‌گیری در مورد هر دنباله مرجع جدید هستند. روش‌های پیشنهادی یک نمونه جدید را بر اساس تبدیل‌های نگاشت به هر یک از کلاس‌های نمونه‌های نسبی (۰ بدون آزمایش و ۱ برای بدون یخ و ۲ برای فریز) دسته‌بندی می‌کنند. تجزیه و تحلیل

مراجع

- [1] G. J. Joyia, R. M. Liaqat, A. Farooq, and S. Rehman, "Internet of medical things (IOMT): Applications, benefits and future challenges in healthcare domain," *J. Commun.*, vol. 12, pp. 240-247, 2017.
- [2] N. Dilawar, M. Rizwan, F. Ahmad, and S. Akram, "Blockchain: securing internet of medical things (IOMT)," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, 2019.
- [3] A. Elbaz, J. H. Bower, D. M. Maraganore, S. K. McDonnell, B. J. Peterson, J. E. Ahlskog, et al., "Risk tables for parkinsonism and Parkinson's disease," *Journal of clinical epidemiology*, vol. 55, pp. 25-31, 2002.
- [4] E. Heremans, A. Nieuwboer, and S. Vercruyse, "Freezing of gait in Parkinson's disease: where are we now?," *Current neurology and neuroscience reports*, vol. 13, pp. 1-9, 2013.
- [5] B. T. Cole, S. H. Roy, and S. H. Nawab, "Detecting freezing-of-gait during unscripted and unconstrained activity," in *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011, pp. 5649-5652.
- [6] Q. Oung, M. Hariharan, H. Lee, S. Basah, S. Yaacob, M. Sarillee, et al., "Objective assessment of Parkinson's disease symptoms severity: A review," in *2015 2nd international conference on biomedical engineering (icobe)*, 2015, pp. 1-6.
- [7] Q. W. Oung, M. Hariharan, S. N. Basah, S. Yaacob, M. Sarillee, and H. L. Lee, "Use of technological tools for Parkinson's disease early detection: A review," in *2014 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE 2014)*, 2014, pp. 343-348.
- [8] Q. W. Oung, H. Muthusamy, H. L. Lee, S. N. Basah, S. Yaacob, M. Sarillee, et al., "Technologies for assessment of motor disorders in Parkinson's disease: a review," *Sensors*, vol. 15, pp. 21710-21745, 2015.



- [23] N. Mohammadian Rad, T. Van Laarhoven, C. Furlanello, and E. Marchiori, "Novelty detection using deep normative modeling for imu-based abnormal movement monitoring in parkinson's disease and autism spectrum disorders," *Sensors*, vol. 18, p. 3533, 2018.
- [24] A. El-Attar, A. S. Ashour, N. Dey, H. A. El-Kader, M. M. A. El-Naby, and F. Shi, "Hybrid DWT-FFT Features for Detecting Freezing of Gait in Parkinson's Disease," in *Information Technology and Intelligent Transportation Systems*, ed: IOS Press, 2019, pp. 117-126.
- [25] C. Punin, B. Barzallo, R. Clotet, A. Bermeo, M. Bravo, J. P. Bermeo, *et al.*, "A non-invasive medical device for parkinson's patients with episodes of freezing of gait," *Sensors*, vol. 19, p. 737, 2019.
- [26] I. Mazzetta, A. Zampogna, A. Suppa, A. Gumiero, M. Pessione, and F. Irrera, "Wearable sensors system for an improved analysis of freezing of gait in Parkinson's disease using electromyography and inertial signals," *Sensors*, vol. 19, p. 948, 2019.
- [27] M. van den Berg and A. Maeder, "Prediction of freezing of gait in patients with Parkinson's disease using EEG signals," *Telehealth for Our Ageing Society: Selected Papers from Global Telehealth 2017*, vol. 246, p. 124, 2018.
- [28] V. G. Torvi, A. Bhattacharya, and S. Chakraborty, "Deep domain adaptation to predict freezing of gait in patients with Parkinson's disease," in *2018 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 2018, pp. 1001-1006.
- [29] V. Novák, I. Perfilieva, and J. Mockor, *Mathematical principles of fuzzy logic* vol. 517: Springer Science & Business Media, 2012.
- [30] F. Logic, "Stanford Encyclopedia of Philosophy. Bryant University," 2006.
- [31] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [32] F. J. Pelletier, "Metamathematics of fuzzy logic," ed: JSTOR, 2000.
- [33] B. Zohuri, M. Moghaddam, B. Zohuri, and M. Moghaddam, "What Is Fuzzy Logic and How It Works," *Business Resilience System (BRS): Driven Through Boolean, Fuzzy Logics and Cloud Computation: Real and Near Real Time Analysis and Decision Making System*, pp. 199-219, 2017.
- [34] R. Babuška, *Fuzzy modeling for control* vol. 12: Springer Science & Business Media, 2012.
- [35] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," in *Proceedings of the institution of electrical engineers*, 1974, pp. 1585-1588.
- [36] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, pp. 116-132, 1985.
- [37] S. Mirjalili, A. H. Gandomi, S. Z. Mirjalili, S. Saremi, H. Faris, and S. M. Mirjalili, "Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems," *Advances in engineering software*, vol. 114, pp. 163-191, 2017.
- [38] M. Mirrashid and H. Naderpour, "Transit search: An optimization algorithm based on exoplanet exploration," *Results in Control and Optimization*, vol. 7, p. 100127, 2022.
- [39] M. Bachlin, M. Plotnik, D. Roggen, I. Maidan, J. M. Hausdorff, N. Giladi, *et al.*, "Wearable assistant for Parkinson's disease patients with the freezing of gait symptom," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, pp. 436-446, 2009.
- [9] E. Yıldırım, M. Cicioğlu, and A. Çalhan, "Fog-cloud architecture-driven Internet of Medical Things framework for healthcare monitoring," *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 61, pp. 1133-1147, 2023.
- [10] N. Ghosh and I. Banerjee, "IoT-based freezing of gait detection using grey relational analysis," *Internet of Things*, vol. 13, p. 100068, 2021.
- [11] P. Verma and S. K. Sood, "Fog assisted-IoT enabled patient health monitoring in smart homes," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, pp. 1789-1796, 2018.
- [12] S. Pardoel, J. Nantel, J. Kofman, and E. D. Lemaire, "Prediction of freezing of gait in Parkinson's disease using unilateral and bilateral plantar-pressure data," *Frontiers in Neurology*, vol. 13, p. 831063, 2022.
- [13] S. Iranpak, A. Shahbahrani, and H. Shakeri, "Remote patient monitoring and classifying using the internet of things platform combined with cloud computing," *Journal of Big Data*, vol. 8, pp. 1-22, 2021.
- [14] S. Bandopadhyaya, R. Dey, and A. Suhag, "Integrated healthcare monitoring solutions for soldier using the internet of things with distributed computing," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 26, p. 100378, 2020.
- [15] J. S. Khan, A. Tahir, J. Ahmad, S. A. Shah, Q. H. Abbasi, G. Russell, *et al.*, "5G-FOG: Freezing of gait identification in multi-class softmax neural network exploiting 5G spectrum," in *Science and Information Conference*, 2020, pp. 26-36.
- [16] M. Abbasi, E. Mohammadi-Pasand, and M. R. Khosravi, "Intelligent workload allocation in IoT-Fog-cloud architecture towards mobile edge computing," *Computer Communications*, vol. 169, pp. 71-80, 2021.
- [17] Q. W. Oung, S. N. Basah, H. Muthusamy, V. Vijejan, H. Lee, W. Khairunizam, *et al.*, "Objective evaluation of freezing of gait in patients with Parkinson's Disease through machine learning approaches," in *2018 International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA)*, 2018, pp. 1-7.
- [18] S. Iranpak, A. Shahbahrani, and H. Shakeri, "Analyzing IoT big data in healthcare using Deep learning and Distributed Fog computing," 2022.
- [19] J. Camps, A. Sama, M. Martin, D. Rodriguez-Martin, C. Perez-Lopez, J. M. M. Arostegui, *et al.*, "Deep learning for freezing of gait detection in Parkinson's disease patients in their homes using a waist-worn inertial measurement unit," *Knowledge-Based Systems*, vol. 139, pp. 119-131, 2018.
- [20] A. S. Ashour, A. El-Attar, N. Dey, M. M. Abd El-Naby, and H. Abd El-Kader, "Patient-dependent freezing of gait detection using signals from multi-accelerometer sensors in Parkinson's disease," in *2018 9th cairo international biomedical engineering conference (CIBEC)*, 2018, pp. 171-174.
- [21] B. Li, Y. Zhang, L. Tang, C. Gao, and D. Gu, "Automatic detection system for freezing of gait in Parkinson's Disease based on the clustering algorithm," in *2018 2nd IEEE advanced information management, communicates, electronic and automation control conference (IMCEC)*, 2018, pp. 1640-9.
- [22] V. Mikos, C.-H. Heng, A. Tay, S.-C. Yen, N. S. Y. Chia, K. M. L. Koh, *et al.*, "A neural network accelerator with integrated feature extraction processor for a freezing of gait detection system," in *2018 IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC)*, 2018, pp. 59-62.



شناسایی چهره افراد بر اساس مدل معنایی برای موبایل بانک

لیلی نصرتی^۱، امیر مسعود بیدگلی^{۲*}، حمید حاج سید جوادی^۳

۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

Nosrati.leili@gmail.com

۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

Am_bidgoli@iau-tnb.ac.ir

۳- دانشکده ریاضیات و علوم پایه، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

s.h.seidjavadi@gmail.com

چکیده: در این مقاله، یک پروتکل احراز هویت جدید برای بانکداری آنلاین بر اساس مدل معنایی ویژگی‌های استخراج شده از تصویر افراد معرفی شده است. رویکرد پیشنهادی با استفاده از تلفن‌های همراه هوشمند برای تصویربرداری دیجیتال برای مشتریان ارائه شده است. در این روش از خوشه‌بندی فازی برای دسته‌بندی ویژگی‌های تصاویر افراد مختلف استفاده شده است و با اعمال آن‌ها در روش‌های مختلف یادگیری ماشین، ترکیب روش‌های طبقه‌بندی یادگیری ماشین برای بهبود عملکرد و افزایش قدرت در برابر حملات مختلف ارائه شده است. همچنین به منظور کاهش پیچیدگی طراحی ماشین برای کارهای عملیاتی، از روش کاهش ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر چهره افراد به کمک الگوریتم ژنتیک و در قسمت آخر برای تصمیم‌گیری جهت احراز هویت فرد انتخاب شده، از سیستم منطق فازی بر اساس بالاترین دقت شناسایی فرد مورد نظر استفاده شده است. با استفاده از یک مجموعه داده عمومی، نتایج تجربی نشان داد که روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک بهترین انتخاب ویژگی برای ایجاد یک روش احراز هویت ضمنی برای محیط تلفن هوشمند است. نتیجه محاسبات دقت حدود ۹۹/۸۰٪ را با استفاده از تنها ۳۰ ویژگی از ۷۷ ویژگی برای احراز هویت کاربران نشان داد که بیانگر نیاز به منابع کمتر تلفن همراه است.

واژه های کلیدی: احراز هویت چهره، بانکداری همراه، مدل معنایی، الگوریتم ژنتیک، درخت تصمیم.

Face Detection based on Semantic Model for Mobile Banking

Leili Nosrati¹, Amir Masoud Bidgoli^{2*}, ³hamid haj seied javadi

¹ Department of computer engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
 nosrati.leili@gmail.com

² Department of computer engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
am_bidgoli@iau-tnb.ac.ir

³ Mathematic department, Shahed University, Tehran, Iran

Abstract:

In this paper, a new authentication protocol for online banking based on the semantic model of features extracted from people's image is introduced. The proposed approach is presented using smart mobile phones for online digital imaging for customers. In this work, a fuzzy clustering has been used to categorize the characteristics of the images of different people and by applying them to different machine learning methods, a combined technique of machine learning classification methods has been presented to improve performance and increases strength against various attacks. Also to reduce the complexity of machine design for operational tasks, the technique of reducing features extracted from face images with the help of genetic algorithm has been used. In the last part, in order to make a decision for authentication selected by machine learning systems, a fuzzy logic system is presented based on the highest accuracy of identifying the desired person. Using a public dataset, the experimental results showed that the genetic algorithm-based technique is the



best feature selection to create an implicit authentication method for the smartphone environment. The results showed an accuracy of about 99.80% using only 30 features out of 77 to authenticate users. At the same time, the results showed that the proposed method has a lower error rate compared to the related work.

Keywords: face detection authentication, mobile banking, semantic learning, Genetic Algorithm, Decision tree.

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۰۷

۱- مقدمه

خواهد داشت و فرآیند احراز هویت شامل چالش‌های بیشتری نیز می‌شود زیرا همه چیز توسط اینترنت اشیاء به هم متصل می‌شود. علاوه بر این، به دلیل تغییر در چهره افراد و حتی موقعیت سر در مقابل دوربین گوشی هوشمند، احراز هویت چهره برای سیستم شناسایی دشوار و نامشخص است. بنابراین، ارائه یک روش مدل معنایی می‌تواند به تقویت سیستم احراز هویت کمک کند. احراز هویت تلفن همراه می‌تواند راه حل مناسبی باشد که بانکداری آنلاین، بانکداری تلفن همراه و پرداخت‌های از طریق تلفن همراه را به روشی امن، به هم متصل کند [۴]. احراز هویت به تنهایی مستعد آسیب‌پذیری است، در موارد سرقت یا اشخاص ثالث قابل اعتماد، امنیت آن می‌تواند به راحتی نقض شود و هک‌های رمز عبور به راحتی می‌توانند امنیت را از بین ببرند زیرا اکثر رمزهای عبور ضعیف هستند. بانکداری امن همراه، به مشتریان این اطمینان را می‌دهد که بدانند اطلاعات آنها امن است و می‌توانند با اطمینان تراکنش‌های امن انجام دهند.

به منظور ایجاد امنیت در سیستم بانکداری آنلاین که موبایل بانک یکی از آن سیستم‌هاست، تاکنون روش‌های مختلفی ارائه شده است. هر کدام از این روش‌ها با منطق و استراتژی خاصی سعی در کشف حمله داشته و از نفوذ به سیستم جلوگیری کرده‌اند. علیرغم تلاش‌های زیادی که صورت گرفته، این روش‌ها همچنان با چالش‌های امنیتی مواجه بوده و نتوانسته‌اند از نظر امنیتی عملکرد مناسبی را در این سیستم‌ها حفظ کنند. بنابراین در این مقاله مدلی را ارائه خواهیم داد که با استفاده از قابلیت‌های معنایی مبتنی بر منطق فازی به کشف هویت نمونه‌ها و احراز هویت افراد به کمک تصویربرداری آنلاین تلفن همراه می‌پردازد. مدل پیشنهادی در این مقاله بر اساس رویکرد شبکه عصبی مصنوعی ANN، شبکه فازی عصبی ANFIS و درخت تصمیم برای احراز هویت افراد پیاده‌سازی شده است. در این کار یک الگوریتم احراز هویت چهره برای بانکداری موبایلی تحت نرم افزار متلب مدلسازی شده و سپس طرح‌ها، روش‌ها و سایر موارد پیشنهادی برای سیستم مورد نظر پیاده‌سازی و بررسی می‌شوند. در نهایت، نتایج شبیه‌سازی با سایر روش‌های احراز هویت مقایسه شده و در این زمینه تلاش خواهیم کرد تا به یک فناوری هوشمند برای بانکداری ایمن و راحت مبتنی بر شناسایی هویت افراد بر اساس تصویر چهره با تماس‌های تلفن همراه دست یابیم. با توجه به نقاط ضعف و نفوذپذیری الگوریتم‌های موجود برای احراز هویت در موبایل بانک‌ها، در این مستند تلاش شده پس از بررسی روش‌های احراز هویت موجود و مقایسه آن‌ها، یک روش یکپارچه جدید مبتنی بر مدل معنایی در موبایل بانک و بستر رایانش ابری برای برقراری امنیت و دقت بیشتر ارائه شود.

پیشرفت در فناوری دستگاه‌های تلفن همراه راه‌های جدید را برای بانکداری آنلاین امن‌تر کرده است. موسسات مالی پس از پی بردن به مزایای موبایل بانک، فرصت‌های بانکداری موبایلی را برای مشتریان خود فراهم کرده‌اند تا به آنها در هر زمان و مکان، امکان انجام عملیات بانکی مانند پرداخت صورت حساب، بررسی مانده حساب‌ها و انتقال پول را بدهند. یکی از مهمترین مسائلی در بانکداری همراه امنیت است. احراز هویت در دستگاه‌های تلفن همراه می‌تواند نقطه عطفی باشد که بانکداری آنلاین و تلفن همراه را به روشی که امنیت کاربران را فراهم می‌کند، به هم متصل کند. بانکداری تلفن همراه به تلفن بانک همراه نیز معروف است. از آن به عنوان استفاده از تلفن همراه برای مشاغل مرتبط با بانکداری یاد می‌شود [۱]. برای تراکنش‌های مالی آنلاین، روش‌های سنتی در بانکداری تلفن همراه شامل اطلاعاتی است که مشتری می‌داند. چنین اقداماتی عمدتاً به شکل پین‌ها، رمزهای عبور، نشانه‌ها، کلیدها یا سؤالات امنیتی است که می‌توانند توسط کلاهبرداران به سرقت بروند یا حدس زده شوند. بنابراین، اعتماد نسبت به فناوری ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد و افراد کمتری به بانکداری آنلاین روی بیاورند [۲].

ثابت شده است که انسان‌ها در به خاطر سپردن چهره یک فرد بسیار بهتر از نام او هستند. لذا یکی از رویکردهای امیدوارکننده برای ایجاد یک طرح رمز عبور ایمن، استفاده از مجموعه‌ای از تصاویر چهره افراد به عنوان رمز عبور به جای شماره‌های پین معمولی است. منطق معرفی سیستم رمز عبور بصری استفاده از دو فاکتور است: (۱) قدرت پردازش اطلاعات انسانی برای تشخیص تصاویر بصری، که برای رایانه‌ها کار دشواری تلقی می‌شود. (۲) قدرت پردازش سریالی سریع یک کامپیوتر دیجیتال برای به حداقل رساندن خطای انسانی در تعامل کامپیوتری. بنابراین ارائه راهکاری مبتنی بر یادآوری تصاویر چهره افراد برای شناسایی و احراز هویت در حوزه موبایل بانک کمک شایانی به حفظ امنیت اطلاعات و مقابله با حملات می‌کند.

حفظ حریم خصوصی و محرمانه بودن داده‌های بیومتریک هنوز یک چالش است و روش‌های امنیتی قبلی مانند رمزگذاری و واترمارک دیجیتال برای استفاده بلادرنگ موفق نیستند. امروزه فرآیند احراز هویت کاربر با تهدیدات امنیتی بسیاری مواجه است. لذا سطح امنیت دستگاه‌های بیومتریک باید افزایش یابد تا بتوان یک سیستم کارآمد به ویژه برای بانکداری آنلاین ارائه نمود. با یک سیستم احراز هویت آنلاین، مشکلاتی از جمله عدم اطمینان در شناسایی صحیح افراد وجود



محققان، بخش ۳ ارائه روش پیشنهادی، بخش ۴ آزمون‌های شبیه‌سازی و استنباط آنها و بخش ۵ نتیجه‌گیری و گسترش کار در آینده می‌باشند.

۲- بررسی ادبیات

از آنجاکه سیستم‌های فعلی احراز هویت کاربر تلفن همراه مبتنی بر کدهای پین، اثر انگشت و تشخیص چهره دارای کاستی‌های متعددی هستند، در این مقاله تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای از ویژگی‌های بیومتریک رفتاری تک‌وجهی و چندوجهی به‌دست‌آمده در حال انجام فعالیت‌های مختلف روی تلفن مانند تایپ کردن، اسکرول کردن، کشیدن و ضربه زدن روی صفحه، با در نظر گرفتن صفحه لمسی و داده‌های حسگر همزمان پس‌زمینه مانند (شتاب‌سنج، سنسور گرانش، ژيروسکوپ، شتاب‌سنج خطی و مغناطیس‌سنج) انجام شده است. یک شبکه عصبی بازگشتی جداگانه (RNN) با از دست دادن سه گانه برای هر مدالیته به کار گرفته شده است و سپس، ترکیب وزنی مدالیته‌های مختلف از طریق امتیاز دهی استخراج شده‌اند [۵]. همچنین یک راه‌حل جامع برای امنیت خانه‌های هوشمند پیاده‌سازی شده که به بهبود حریم خصوصی و امنیت با استفاده از دو فناوری مستقل و نوظهور احراز هویت چهره و تشخیص گفتار توسط تلفن همراه، تبلت، رایانه شخصی کمک می‌کند. کل فرآیند مورد اشاره با کمک شبکه‌های عصبی انجام می‌شود [۶]. بعلاوه، یک راه حل ترکیبی برای رسیدگی به دو چالش کلیدی احراز هویت، حریم خصوصی داده‌ها و محدودیت‌های منابع دستگاه‌های تلفن همراه نیز ارائه شده است. در مورد اول از رمزگذاری جزئی همورفیک براساس الگوریتم Paillier برای رمزگذاری استفاده شده و در دومی از ترکیبی از شبکه عصبی پیچیده عمیق و الگوی سه‌گانه محلی برای تشخیص چهره استفاده شده است [۷].

از آنجا که ورودی شبکه‌های عصبی عمیق (DNN) در برابر اغتشاشات نامحسوس استحکام ندارند، مدل‌های تشخیص چهره (FRMs) مبتنی بر DNN این آسیب‌پذیری را به ارث می‌برند. در این مقاله روشی برای ارزیابی و توصیف استحکام FRM‌ها در برابر اختلالات معنایی ورودی آنها پیشنهاد شده است. در این روش، با طراحی حملات متخاصم که به دنبال ایجاد تغییرات در حفظ هویت چهره‌ها هستند، FRM‌ها را دچار نقص می‌کند. به طور خاص، با توجه به یک چهره، حملات انواع حفظ هویت چهره را پیدا می‌کنند به طوری که یک FRM قادر به تشخیص تصاویر متعلق به همان هویت نیست. این تغییرات مدل‌سازی می‌شوند و در نهایت با ترکیب با روش صدور گواهی تضمین-های نظری در خصوص عملکرد یک FRM و همچنین یک توصیف رسمی از اینکه چگونه یک FRM ممکن است مفهوم هویت چهره را مدل‌سازی کند ارائه می‌شود [۸]. همچنین به علت چالش‌های موجود در تشخیص چهره مبتنی بر ویدئو که ناشی از تعداد زیاد فریم‌ها و اختلافات درونی آنها می‌باشد یک مدل معنایی جدید برای بهبود عملکرد تشخیص چهره مبتنی بر ویدئو پیشنهاد شده است. ایده اصلی ساخت یک زیرفضای کم‌بعدی مناسب برای هر فرد است که بر اساس آن یک

فناوری تشخیص چهره (FRT) خود را به عنوان یک ابزار همه‌کاره برای پشتیبانی از تأیید هویت و احراز هویت تثبیت کرده است. گام‌های بزرگی در توسعه راه‌حل‌های FRT دقیق و مقاوم در برابر دستکاری، با کمک فناوری‌های یادگیری ماشین (ML) و هوش مصنوعی (AL) چه بر روی تراشه و چه در فضای ابری برداشته شده است. این تحولات منجر به اعتماد بیشتر بلنک‌ها در به کارگیری این فناوری برای طیف گسترده‌ای از کاربردها و موارد استفاده شده است. استفاده از الگوریتم‌های تکاملی به عنوان یک رویکرد جدید در این مقاله می‌تواند به ایجاد یک مدل معنایی در فرایند شناسایی کمک کند. بر این اساس، ما با کمک سازگاری ویژگی‌های استخراج شده از مجموعه تصاویر افراد با کمک الگوریتم ژنتیک، توانسته‌ایم به افزایش امنیت برای FRT کمک کنیم. بانک‌ها همچنین به طور مستقیم از قدرت فناوری ML و AL الگوریتم‌های تکاملی برای بهبود عملکرد بیومتریک و شناسایی هویت استفاده می‌کنند. این امر ضروری است و به بانک‌ها این اطمینان را می‌دهد که فناوری بیومتریک ایمن و قابل اعتماد است.

صورت انسان دائماً اطلاعات را آگاهانه و ناخودآگاه منتقل می‌کند. با این حال، به همان اندازه که تفسیر بصری این اطلاعات برای انسان‌ها اساسی است، برای ماشین‌ها یک چالش بزرگ است. روش‌های مرسوم برای تشخیص و تحلیل ویژگی‌های معنایی صورت عمدتاً فاقد استحکام هستند و از زمان محاسباتی بالا رنج می‌برند. هدف این مقاله کشف راه‌هایی برای ماشین‌ها جهت یادگیری تفسیر اطلاعات معنایی موجود در چهره‌ها به شیوه‌ای خودکار و بدون نیاز به طراحی دستی آشکارسازهای ویژگی، با استفاده از رویکرد یادگیری عمیق است. قسمت‌های اصلی این مقاله به شرح زیر خلاصه می‌شوند: (۱) یک سیستم احراز هویت چهره مبتنی بر هوش مصنوعی، با استفاده از پیاده‌سازی یک مدل معنایی برای احراز هویت پویا ارائه می‌شود. (۲) روش پیشنهادی در مدل‌سازی نرم بر اساس طبقه‌بندی افراد طراحی و آزمایش شده است. مجموعه داده شامل ویدیوهای ضبط شده توسط چندین کاربر، دوربین‌های مختلف گوشی‌های هوشمند و تصاویر افراد در سایت‌های مختلف و در جهات مختلف است. (۳) طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج‌شده از انواع مختلف تصاویر بر اساس یک مدل خوشه‌بندی معنایی مبتنی بر کیلومترهای فازی برای سه مجموعه از روش‌های یادگیری ماشین است: ANN، ANFIS و درخت تصمیم. (۴) برای کاهش پیچیدگی‌های پردازش مجموعه ویژگی‌های استخراج شده برای هر تصویر، از روش انطباق معنایی ویژگی‌ها با افراد مورد نظر استفاده می‌شود تا بتوان آن را توسط پردازنده‌های انواع تلفن‌های همراه پیاده‌سازی کرد. در این روش، از الگوریتم ژنتیک برای آموزش سیستم‌های یادگیری ماشینی با کاهش ویژگی‌ها از طریق حذف ویژگی‌های ناسازگار با افراد واقعی در حال آزمایش استفاده می‌شود.

بخش‌های باقی مانده از مقاله پژوهشی به روش زیر ساختار یافته است. بخش ۲ شامل مروری بر کارهای تحقیقاتی قبلی انجام شده توسط



مدل معنایی برای طبقه‌بندی فریم‌های کلیدی فرد در کلاس خاص ساخته می‌شود. پس از طبقه‌بندی معنایی، از فریم‌های کلیدی متعلق به همان کلاس‌ها، یعنی همان معنانشناسی، برای آموزش طبقه‌بندی‌کننده‌های خطی برای تشخیص استفاده می‌شود [۹].

به طور معمول، احراز هویت کاربران تلفن هوشمند با استفاده از مکانیسم‌هایی (رمز عبور یا الگوی امنیتی) برای تأیید هویت کاربر انجام می‌شود که اگرچه این مکانیسم‌ها ارزان، ساده و به اندازه کافی سریع برای ورود مکرر هستند، اما در برابر حملاتی مانند *Shoulder surfing* یا *Smudge attack* آسیب‌پذیر هستند. این مشکل را می‌توان با احراز هویت کاربران با استفاده از رفتار آنها (به عنوان مثال، رفتار لمسی) در هنگام استفاده از تلفن‌های هوشمند برطرف کرد. چنین رفتارهایی شامل فشار انگشت، اندازه و زمان فشار هنگام ضربه زدن به کلیدها است. انتخاب ویژگی‌ها (از میان این رفتارها) می‌تواند نقش مهمی در عملکرد فرآیند احراز هویت داشته باشد. برای مورد مذکور یک روش احراز هویت ضمنی برای کاربران گوشی‌های هوشمند ارائه شده که در حالی که هزینه اضافی سخت‌افزار خاص را تحمیل نمی‌کند، به قابلیت‌های محدود گوشی‌های هوشمند می‌پردازد [۱۰].

در بسیاری از برنامه‌های کاربردی تشخیص ویژگی چهره (FAR) در دنیای واقعی، تنها داده‌های برچسب‌گذاری شده محدودی در دسترس هستند که منجر به بدتر شدن قابل توجه عملکرد اکثر روش‌های FAR که مبتنی بر یادگیری عمیق می‌باشند می‌شود. در همین راستا روشی به نام یادگیری وصله مکانی - معنایی (SSPL) پیشنهاد شده که آموزش آن شامل دو مرحله است. ابتدا، سه کار کمکی، متشکل از یک وظیفه چرخش وصله (PRT)، یک وظیفه تقسیم‌بندی وصله (PST) و یک وظیفه طبقه‌بندی وصله (PCT)، برای یادگیری رابطه مکانی - معنایی از داده‌های چهره بدون برچسب در مقیاس بزرگ ارائه می‌شود. به طور خاص، PRT از اطلاعات فضایی تصاویر چهره به روش یادگیری خود نظارتی بهره‌برداری می‌کند، PST و PCT به ترتیب اطلاعات معنایی در سطح پیکسل و سطح تصویر چهره را بر اساس مدل تجزیه چهره ضبط می‌کنند. دانش مکانی - معنایی آموخته شده از وظایف کمکی به وظیفه FAR منتقل می‌شود و این امکان را فراهم می‌کند که فقط تعداد محدودی از داده‌های برچسب‌گذاری شده برای تنظیم دقیق مدل از پیش آموزش دیده مورد استفاده قرار گیرد [۱۱]. از طرفی از طریق شناسایی و پیاده‌سازی منابع فشرده‌ترین الگوریتم‌ها بر روی هسته‌های DSP Lcore و تحلیل تصویر معنایی برای تشخیص چهره، فن‌آوری‌های ایجاد دوربین‌های هوشمند برای تجزیه و تحلیل تصویر معنایی بر اساس هسته‌های Lcore را شرح داده شده است [۱۳].

در رویکردی دیگر با مورد مطالعه قرار گرفتن تشخیص چهره انسان بدون محدودیت با استفاده از بیومتریک‌های نرم‌مقیاسه‌ای در یک گالری برچسب انسانی (و بالعکس) برای برچسب‌گذاری مقایسه‌ای خودکار، بیومتریک نرم صورت پیشنهاد شده است [۱۵]. در روشی دیگر دسته‌ای از طبقه‌بندی‌کننده‌های ویژگی باینری که توصیف‌های بصری فشرده از

چهره‌ها را ارائه می‌دهند، آموزش داده شده‌اند و این طبقه‌بندی‌کننده‌ها روی تصویر کاربر فعلی یک دستگاه تلفن همراه اعمال می‌شوند تا ویژگی‌ها را استخراج کنند و سپس احراز هویت با مقایسه ویژگی‌های محاسبه‌شده با ویژگی‌های ثبت‌شده کاربر اصلی انجام می‌شود و به این ترتیب روشی با استفاده از ویژگی‌های چهره برای احراز هویت مداوم کاربران گوشی‌های هوشمند ارائه شده است [۱۲]. در رویکردی دیگر اثرات عوامل مختلف و فرآیندهای شبکه‌های عصبی عمیق برای یک پیکربندی شبکه‌ای بهینه مورد بررسی قرار گرفته است که بتواند ویژگی‌های معنایی چهره مانند احساسات، سن، جنسیت، قومیت و غیره را به درستی تشخیص دهد. در این روش علاوه بر بررسی رابطه بین اثر مفاهیم سطح بالا بر روی ویژگی‌های سطح پایین از طریق تجزیه و تحلیل شباهت‌ها در توصیف‌گرهای سطح پایین، ایده جدیدی از استفاده از یک شبکه عمیق برای تولید مدل‌های ظاهری فعال سه‌بعدی چهره‌ها از تصاویر دوبعدی دنیای واقعی نشان داده می‌شود [۱۴]. در مدل یکپارچه بعدی به طور منسجم در مورد تصاویر مشاهده شده، هویت‌ها، دانش جزئی در مورد نام‌ها، و زمینه موقعیتی هر مشاهده دلیل ارائه می‌شود. هنگامی که مدل در برابر هویت‌های شناخته شده به عملکرد تشخیصی خوبی دست می‌یابد، می‌تواند هویت‌های جدیدی را از داده‌های نظارت نشده ارائه دهد و یاد می‌گیرد که بسته به اینکه کدام هویت‌ها تمایل دارند با هم مشاهده شوند، هویت‌ها را با زمینه‌های مختلف مرتبط کند. علاوه بر این، مؤلفه نیمه نظارت شده پیشنهادی می‌تواند نه تنها آشنایان را که نامشان مشخص است، بلکه چهره‌های آشنای بدون برچسب و غریبه‌ها را نیز در چارچوبی یکپارچه مدیریت کند [۱۶].

۳- روش شناسی

از آنجایی که ما به تکامل یک سیستم احراز هویت چهره علاقه‌مندیم، این مطالعه یک رویکرد معنایی را پیشنهاد می‌کند که هم تشخیص امنیتی و هم چالش‌های تأیید چهره را بررسی می‌کند. در بخش‌های بعدی ابتدا به معرفی مفاهیم و پیشینه‌های مورد استفاده در این مقاله می‌پردازیم؛ سپس رویکرد تلفیقی مبتنی بر مدل معنایی پیشنهادی این مستند را برای تأیید چهره توصیف می‌کنیم. ما طرح‌های تک تصویری را در مقابل رویکردهای مبتنی بر ویدئو برای احراز هویت با چهره مقایسه می‌کنیم. هر دو مورد، برای کاربردهای متفاوت استفاده می‌شوند و در بسیاری موارد، این روش‌ها می‌توانند با موفقیت ترکیب شوند، یکدیگر را تکمیل کنند و اقدامات امنیتی در برابر حملات را بهبود بخشند.

۳-۱- زمینه

در این مطالعه، سه روش یادگیری ماشین برای احراز هویت چهره مورد بحث قرار گرفته است. اساس تقسیم‌بندی اطلاعات شامل ویژگی‌های



در جایی که U یک ماتریس تقسیم‌بندی NC، V یک ماتریس CMM حاوی مراکز خوشه و DIK یک تفاوت اندازه‌گیری بین مرکز خوشه KT و شی $i-t$ است. روش به حداقل رساندن متناوب بین ماتریس عضویت U و ماتریس مرکز خوشه V را می‌توان برای (۱) اعمال کرد:

$$u_{ik} = \frac{\exp\left(\frac{-d_{ik}}{\gamma}\right)}{\sum_{s=1}^c \exp\left(\frac{-d_{is}}{\gamma}\right)} \quad (3)$$

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ik} X_i}{\sum_{i=1}^n u_{ik}} \quad (4)$$

اولین عبارت در (۱) تابع هزینه الگوریتم استاندارد K-Means است. عبارت دوم برای به حداقل رساندن آنتروپی منفی عضویت اشیاء به خوشه در فرآیند خوشه‌بندی اضافه می‌شود، که می‌تواند همزمان پراکندگی درون خوشه‌ای را به حداقل برساند و آنتروپی وزن منفی را جهت تعیین خوشه‌ها برای کمک به ارتباط اشیاء به حداقل برساند.

۳-۱-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک فرآیند جستجوی مقادیر بهینه را در چندین نقطه به طور همزمان در یک نسل انجام می‌دهند [۱]. فرآیند تکرار با رویکرد تکاملی نسل به نسل انجام می‌شود، اما تعداد اعضای کروموزوم با بهترین تناسب برای هر نسل حفظ می‌شود زیرا آنها مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها هستند [۲۴]. کروموزوم‌ها می‌توانند کدهای باینری، عدد صحیح یا اعشاری باشند. در فرآیند تکامل، تعدادی از ژن‌ها که کروموزوم را می‌سازند در یک فرآیند متقاطع و جهش هستند [۲۵]. الگوریتم‌های ژنتیک با استفاده از کروموزوم‌هایی که برای به دست آوردن جواب بهینه زنده نگاه‌داشته می‌شوند از انتقال امکان‌پذیر برای انتخاب بهترین کروموزوم‌ها استفاده می‌کنند [۳۰ و ۳۱]. فرآیند تناسب هر کروموزوم به‌طور جداگانه با تغییر ژنوتیپ کروموزوم به فنوتیپ آن انجام می‌شود. رشته‌های باینری به متغیرهایی به شکل جفت‌های واقعی $[M, n]$ تبدیل می‌شوند. جمعیت اولیه، یک رشته باینری با طول N است که مردم نامیده می‌شوند. این فرآیند انتخاب را برای نسل بعدی توسط چرخ رولت حفظ می‌کند. بنابراین، کروموزوم با تناسب بالا شانس بیشتری برای انتخاب دارد. انتخاب افرادی که به نسل بعدی منتقل می‌شوند با تولید اعداد تصادفی $r \in (0,1)$ انجام می‌شود [۲۹]. روند فرآیند یک الگوریتم ژنتیک در شکل (۱) نشان داده شده است.

تقاطع از روش یک نقطه برش با جفت شدن دلخواهانه کروموزوم‌ها، سپس انتخاب یک نقطه متقاطع برای تنظیم محل برش در کروموزوم‌ها استفاده می‌کند. به عنوان مثال، کروموزوم‌های ۲ و ۵ به عنوان اولین جفت برای عبور انتخاب می‌شوند و $r = 2$ نقطه متقاطع است. در این تحقیق، انتخاب $\alpha = 0.01$ به این معنی است که حدود ۱٪ از ژن‌ها در جمعیت جهش می‌یابند. اگر مقدار ژن t صفر باشد، مقدار ژن به ۱ تغییر می‌کند، اما اگر مقدار آن ۱ باشد، به ۰ تغییر می‌کند. علاوه بر این،

استخراج‌شده، ارائه خوشه‌بندی K-Means فازی و کاهش ویژگی‌ها با کمک الگوریتم ژنتیک است که در ادامه بیان می‌شود.

۳-۱-۱- فراگیری ماشین

یادگیری ماشینی روشی برای به کار انداختن ماشین از طریق توانایی استدلال بر اساس نتایج یادگیری است. به عبارت دیگر، هنگامی که مجموعه داده‌های دقیقی در اختیار یک ماشین قرار می‌گیرد، ماشین به تنهایی قوانین مربوطه را یاد می‌گیرد و نتیجه مربوط به این قوانین را برای داده‌ها به عنوان خروجی ارائه می‌دهد. در میان این روش‌های یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق، که نورون‌های انسانی را کپی می‌کند و چندین لایه از لایه‌های یادگیری را بین ورودی‌ها و خروجی‌ها سازماندهی می‌کند تا نتایج پیش‌رونده‌تری ارائه کند، در کانون توجه قرار دارد [۱۷]. یادگیری عمیق (DL) می‌تواند برای استخراج انتزاعات پیچیده و سطح بالا از نمایش داده‌ها استفاده شود. این کار با استفاده از یک معماری سلسله‌مراتبی و لایه‌های یادگیری انجام می‌شود، که در آن ویژگی‌های انتزاعی بیشتر یعنی سطح بالاتر بیان می‌شوند و در بالای موارد انتزاعی کمتر یعنی سطح پایین توصیف می‌شوند. روش‌های DL می‌توانند حجم عظیمی از داده‌های بدون نظارت را تجزیه و تحلیل کنند و از آن‌ها بیاموزند، که این روش برای BDA مناسب است؛ در BDA داده‌های خام عمدتاً بدون برچسب و طبقه‌بندی نشده هستند [۱۸].

در میان مدل‌های یادگیری ماشین مبتنی بر یادگیری عمیق، شبکه عصبی مصنوعی [۱۹]، استنتاج فازی مبتنی بر شبکه تطبیقی (ANFS) [۲۰] و درخت تصمیم (DT) [۲۱] روش‌های مهمی هستند که برای تشخیص اشیاء استفاده می‌شوند. در این تحقیق از این ابزارها برای احراز هویت افراد با ترکیبی از ویژگی‌های استخراج شده استفاده کرده‌ایم.

۳-۱-۲- خوشه بندی K-Means فازی

روش K-Means یک الگوریتم خوشه‌بندی است که مجموعه‌ای از نقاط داده را به خوشه‌ها اختصاص می‌دهد به صورتی که نقاط داده در همان خوشه شباهت بالایی داشته باشند. الگوریتم K-Means به دلیل کارایی آن مورد استفاده بوده و با تغییرات و تعمیم‌های متنوعی در طول سال‌ها توسعه یافته است. در میان انواع مختلف الگوریتم K-Means، الگوریتم K-Means فازی (FKM) محبوب‌ترین است [۲۲-۲۳]. به این ترتیب، برای مقابله با برخی از مشکلات در طول خوشه‌بندی، مانند تعداد خوشه‌ها و مراکز اولیه خوشه، یک اصطلاح پنالتی به تابع هدف FKM معرفی شده است [۲۴]. خوشه‌بندی X به خوشه‌های C توسط این الگوریتم برای به حداقل رساندن تابع هدف زیر است:

$$f[U, V] = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c u_{ik} d_{ik} + \gamma \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c u_{ik} \log u_{ik} \quad (1)$$

منوط به

$$\sum_{i=1}^n u_{ik} = 1, u_{ik} \in (0,1), 1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq c \quad (2)$$



زن‌های کروموزوم‌های ۱، ۳ و ۴ با مقدار ۱ جهش می‌یابند. کروموزوم با ارزش تناسب بالا، احتمال تکثیر در نسل بعدی را خواهد داشت [۳۰].

۲-۳- کار پیشنهادی

امروزه بانک‌ها به طور فزاینده‌ای از فناوری بیومتریک برای شناسایی بهتر مشتریان جدید، احراز هویت ایمن مشتریان فعلی، محافظت از تراکنش‌های با ارزش بالا و مبارزه با کلاهبرداری استفاده می‌کنند. در واقع، از آنجایی که بانک‌ها بیومتریک را در همه جا از شعب فیزیکی سنتی گرفته تا جدیدترین پلتفرم‌های دیجیتال به کار می‌گیرند، این فناوری تنها ابزار قابل اعتماد برای احراز هویت و تامین امنیت مشتریان بانکی در همه کانال‌ها می‌باشد. روندهای منتهی به پذیرش بیومتریک در بین بانک‌ها متعدد و شامل موارد زیر است:

- ظهور تلفن‌های همراه و احراز هویت بیومتریک چند وجهی مبتنی بر تلفن همراه.
- ظهور کارت‌های بانکی بیومتریک به معنای «خداحافظی با کدهای پین».

• دریافت کراس کانال، پذیرش بیومتریک در تمام کانال‌های بانکی اتفاق می‌افتد، پشتیبانی فزاینده API های بانکداری باز، از طریق مقرراتی مانند 2PSD که استفاده از بیومتریک را در سناریوهای احراز هویت چند عاملی تشویق می‌کند و دستگاه‌های اینترنت اشیا که از صدا و تصویر پشتیبانی می‌کنند.

در این مقاله ضمن بررسی مشکلات امنیتی در بانکداری همراه به روش‌های احراز هویت در بانکداری آنلاین و موبایلی پرداخته شده و در این راستا روش جدیدی برای حل چالش اصلی امنیت و احراز هویت در حوزه بانکداری همراه ارائه شده است. روش پیشنهادی ترکیبی از روش‌های داده‌کاوی شامل روش‌های یادگیری عمیق مانند شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، شبکه فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) و الگوریتم درخت تصمیم C4.5 است. در ادامه مراحل اجرای طرح احراز هویت با چهره افراد بر اساس مدل معنایی پیشنهادی شرح داده شده است. اساس مدل‌سازی معنایی این اثر، سازگاری ویژگی‌های استخراج شده از تصویر چهره افراد برای احراز هویت است.

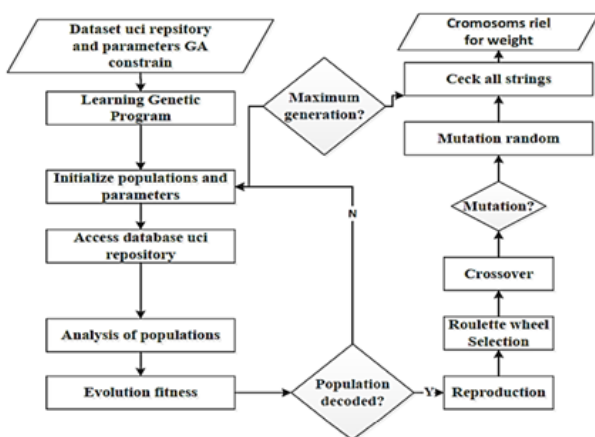
این فرآیند شامل موارد زیر می‌باشد:

- فاز ۱: مجموعه داده‌های مورد استفاده در این مقاله می‌تواند شامل هر نوع داده‌ای باشد که در زمینه موبایل بانک استفاده می‌شود؛ اما با توجه به تمرکز این کار بر احراز هویت اشخاص حقیقی، سعی خواهد شد از مجموعه‌ای از تصاویر استفاده شود. تصویر افراد مختلف باید از زوایای مختلف مورد استفاده قرار گیرد. داده‌های [۲۵،۲۶] می‌تواند از جمله مجموعه داده‌های مورد استفاده در این تحقیق باشد.

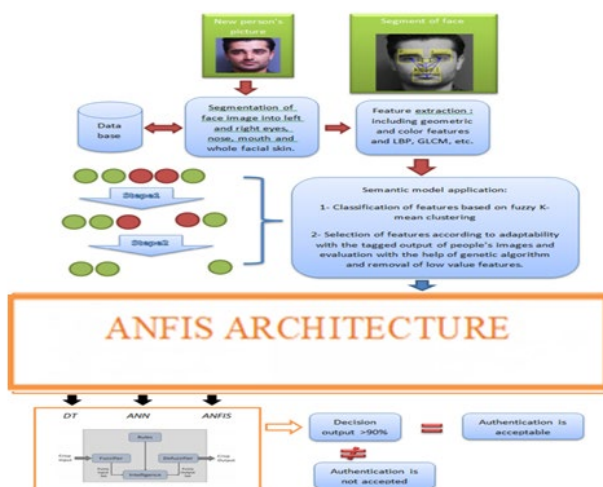
- فاز ۲: تهیه داده‌گاهی در متون داده‌کاوی به عنوان یک موضوع جزئی و به عنوان گامی در فرآیند داده‌کاوی نادیده گرفته می‌شود. در برنامه‌های کاربردی داده‌کاوی در دنیای واقعی، وضعیت برعکس است و تلاش بیشتری صرف آماده‌سازی داده‌ها، نسبت به روش‌های داده‌کاوی

می‌شود. در این راستا دو وظیفه اصلی برای آماده‌سازی داده‌ها وجود دارد: (الف) سازماندهی استاندارد داده‌ها در اجرای پروژه‌های داده‌کاوی به منظور آماده‌سازی داده‌ها برای پردازش با داده‌کاوی و سایر ابزارهای مبتنی بر رایانه. (ب) تهیه مجموعه داده‌ها به گونه‌ای که به بهترین عملکرد روش‌های داده‌کاوی منجر شود.

- فاز ۳: انتخاب دسته‌بندی‌ها برای ادغام باید به گونه‌ای باشد که این دسته‌ها مکمل یکدیگر باشند و هر کدام به اختصار توضیح داده شوند. تفکیک نمونه‌های آموزشی و آزمون برای دسته‌هایی که مکمل یکدیگر هستند بر اساس ویژگی‌های استخراج شده مورد توجه است. خوشه‌بندی K-Means فازی نظارت شده برای مجموعه‌ای از نمونه‌های تصویر جهت آموزش یک سیستم یادگیری ماشین استفاده شده است. این مجموعه داده شامل ۷۷ ویژگی است که از تصاویر چهره افراد مورد مطالعه استخراج شده است.
- فاز ۴: از یک روش الگوریتم تکاملی برای هر دسته از ویژگی‌ها استفاده می‌شود تا مجموعه‌ای از ویژگی‌ها انتخاب شود که با برآورد صحیح افراد مطابقت داشته باشد. با توجه به الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای طبقه‌بندی و جداسازی نمونه‌ها برای این مرحله یک تابع هدف سازگاری تعریف شده است. تابع هدف در بخش بعدی معرفی می‌شود.



شکل (۱): مسیر نسل جدید در الگوریتم ژنتیک [۲۹]



شکل (۲): فلوجارت مراحل اجرای طرح احراز هویت چهره پیشنهادی بر اساس مدل معنایی

۳-۲-۲- پاسخ‌های سیستم‌های یادگیری ماشین

پس از انتخاب و طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر بر اساس تقسیم‌بندی‌های انجام شده، مجموعه‌ای از ویژگی‌ها به هر سیستم یادگیری ماشین اختصاص داده می‌شود. با توجه به آموزش داده شده، برای هر شخص واقعی به هر سیستم یادگیری ماشین یک انتخاب با درصد مشخصی از دقت داده می‌شود. قوانین حاکم برای این تصمیم‌گیری در جدول (۱) آورده شده است. مقادیر ورودی سیستم فازی با کمک سطح دقت هر سیستم یادگیری ماشین مورد نظر برای هر فرد در محدوده بین ۰ و ۱ تعریف می‌شود که برای هر فرد و هر سیستم یادگیری با کمک سیستم آموزش چهره از پیش تعیین شده است. مقدار ۱ برای هر شخص مورد نظر به این معنی است که تصویر این شخص توسط سیستم یادگیری ماشین با دقت ۱۰۰ درصد به درستی شناسایی شده است. همچنین مقدار ۰ به این معنی است که فرد شناسایی شده به درستی توسط این سیستم یادگیری ماشین با دقت ۰ درصد شناسایی شده است. رابطه دقت محاسبه شناسایی افراد توسط الگوریتم یادگیری مورد نظر به صورت زیر تعریف می‌شود:

دقت شناسایی افراد = تعداد تصاویر افراد به درستی شناسایی شده / تعداد کل تصاویر افراد برای آموزش سیستم یادگیری ماشین

جدول (۱): قواعد اساسی تصمیم‌گیری فازی

DT	ANN	ANFIS	Decision Output
Low	Low	Low	Low
Low	Low	Mid	Low
Low	Low	High	Low
Low	Mid	Low	Low
Low	Mid	Mid	Low
Low	Mid	High	Low
Low	High	Low	Low
Low	High	Mid	Low
Low	High	High	High
Mid	Low	Low	Low
Mid	Low	Mid	Low
Mid	Low	High	Low
Mid	Mid	Low	Low
Mid	Mid	Mid	Low
Mid	Mid	High	High
Mid	High	Low	Low
Mid	High	Mid	High
Mid	High	High	High
High	Low	Low	Low
High	Low	Mid	Low
High	Low	High	High
High	Mid	Low	Low
High	Mid	Mid	High
High	Mid	High	High
High	High	Low	High
High	High	Mid	High
High	High	High	High

• فاز ۵: نتایج به دست آمده از دسته‌ها به صورت اکثریت آرا ترکیب می‌شوند. در این مرحله، مقادیر انتخاب شده برای خروجی نهایی از پاسخ‌ها بر اساس دسته‌بندی‌ها و بر اساس یک تصمیم جمعی فازی برای داده‌ها به دست می‌آید. قوانین فازی حاکم بر این تصمیم در بخش بعدی ارائه شده است. فرآیندهای اجرای طرح احراز هویت چهره پیشنهادی بر اساس مدل معنایی در شکل (۲) نشان داده شده است.

۳-۲-۱- روش‌های مدل معنایی با کمک سازگاری ویژگی‌ها بر چسب‌گذاری شده افراد

این پروژه با توجه به مراحل ذکر شده به منظور انجام یک سیستم یادگیری ماشین به عنوان یک سیستم آموزش و تست شامل ANN، DT، ANFIS بر اساس مدل معنایی پیشنهادی انجام شده است. در این رویکرد از دو روش برای ایجاد یک مدل معنایی استفاده شده است. در روش اول از خوشه‌بندی K-Means فازی برای دسته‌بندی ویژگی‌های استخراج شده از چهره افراد با کمک داده‌های آموزش تصویر استفاده شده است. بنابراین، با توجه به مقادیر خروجی داده‌های آموزشی، خوشه‌بندی ویژگی‌ها برای تصاویر افرادی که برای ایجاد حساب همراه بانک ثبت‌نام کرده‌اند، انجام شده است. خوشه‌بندی پیشنهادی ویژگی‌های استخراج شده، تصاویر را به سه دسته از ویژگی‌های مورد استفاده برای سیستم یادگیری ماشین تقسیم می‌کند.

روش دوم بر اساس توانایی کمک یک تابع هدف چند جمله‌ای برای هر ویژگی از تصاویر آموزشی است. در این روش پس از نرمال‌سازی ویژگی‌ها، از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کنیم. این الگوریتم ضرایب چندجمله‌ای را پس از ۳۰۰ دوره تکرار تعیین می‌کند. در این بخش، تابع هدف را به عنوان انحراف چندجمله‌ای مقادیر خروجی هدف برای تعداد تصاویر افراد مختلف تعریف می‌کنیم. ضرایب چند جمله‌ای، پاسخ‌های مستقل از الگوریتم ژنتیک را برای حداقل انحراف نهایی از مقادیر خروجی تصویر نشان می‌دهند. در این مرحله، پس از تعیین ضرایب چندملمیتی مورد نظر برای همه ویژگی‌ها، هر کدام که خطای خروجی کمتری دارند، به عنوان ویژگی‌های تطبیقی با تصویر فرد شناسایی می‌شوند؛ که این ویژگی‌ها برای آموزش سیستم یادگیری ماشین در دسته‌های خوشه‌ای انتخاب شده‌اند.

کد برنامه تابع شیء در زیر آمده است:

$function z = Sphere(x, y)$

%normalization

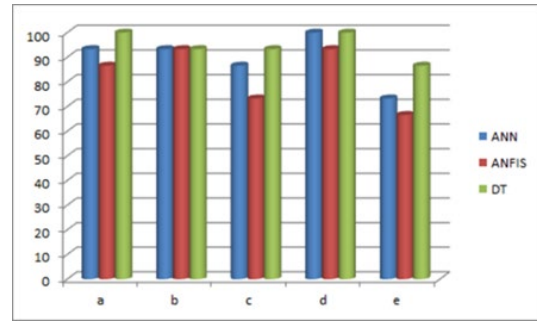
$Y = y(:,1);$

$Yn = (Y - \min(Y)) / (\max(Y) - \min(Y));$

$z = \text{sum}(\text{abs}(x(1) * Yn.^5 + x(2) * Yn.^4 + x(3) * Yn.^3 + x(4) * Yn.^2 + x(5) * Yn + x(6) - y(:,2)));$

end





شکل (۳): محاسبه دقت شناسایی افراد توسط ANN و ANFIS و DT برای ۵ نفر

۴- نتایج و بحث‌ها

به منظور آزمایش رویکردهای پیشنهادی، از پایگاه داده چهره AR [۲۵،۲۶] و فریم دوربین موبایل برای افراد مختلف استفاده شده است که در آن برای هر فرد ۱۵ عکس با حالات چهره و تغییرات نور متفاوت وجود دارد. همچنین از پایگاه داده MUTC با ۳۷۵۵ چهره برای ۷۶ عضو ثبت شده استفاده شده که در آن یک فایل برای هر یک از پنج دوربین و یک فایل برای اطلاعات نشانه‌های دستی وجود دارد. برای جلوگیری از جعل و کلاهبرداری از یک سری تصاویر با فریم‌های مختلف چهره افراد که از طریق دوربین‌های مختلف موبایل گرفته شده است، استفاده شده است. این کار ضمن افزایش ارزش عملی روش پیشنهادی در زمینه موبایل بانک، امکان استفاده هکرها از تصاویر جعلی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. دلیل این امر استفاده آنلاین از پردازش تصویر با فریم‌های مختلف است.

در رویکرد پیشنهادی، ویدیویی از یک کاربر که هر یک از چالش‌ها را انجام می‌دهد، یک تلاش فردی برای ورود به سیستم تلقی می‌شود. از آنجایی که اکتساب داده‌ها کنترل نمی‌شود، ویدئوهایی با طول‌های مختلف جمع‌آوری می‌شوند. بنابراین، یک خط لوله خودکار برای پردازش ویدئوهای ضبط شده به داده‌های ساختاریافته پیشنهاد شده که بعداً برای ایجاد ویژگی‌هایی برای احراز هویت چهره استفاده می‌شود. در این راستا ابتدا، ابر داده جهت‌گیری ویدئو استخراج شده تا بهترین عملکرد را از کتابخانه‌های نرم‌افزار MATLAB که برای تشخیص چهره و تشخیص نقطه‌نظر استفاده می‌شوند، داشته باشیم. سپس مجموعه‌ای از فریم‌ها از هر ویدیوی جمع‌آوری شده نمونه برداری می‌شوند. در مطالعه پیش‌رو، تمام ویدیوها با سرعت ۱۰ فریم در ثانیه (fps) نمونه‌برداری شده‌اند. پس از آن، برای پارادایم، تشخیص چهره طبق روش‌های ذکر شده بر اساس توابع و جعبه ابزار MATLAB مدل سازی و پیاده سازی شده است. پیش پردازش تصاویر به منظور حذف نویز و افزایش کیفیت تصاویر با کمک مدل‌های اولیه انجام می‌شود. برای مشکل روشنایی در این کار سعی شده است که میانگین تضاد تصاویر برای همه نمونه‌ها و فریم‌ها در مقدار ۳۰ نرمال شود. برای استخراج ویژگی‌هایی مانند بافت، رنگ و مشخصات هندسی در قسمت‌های مختلف از توابع متفاوتی استفاده شده است. در مجموع ۷۷ ویژگی برای هر تصویر از شخص مورد نظر استخراج

می‌شود که به دلیل ناکارآمدی برخی ویژگی‌های تصاویر نمونه، برای طبقه‌بندی هویت افراد، در پردازش‌های بعدی می‌بایست ارزش آن ویژگی‌ها کاهش یابد یا کلاً حذف شوند. با توجه به این دیدگاه، در این اثر، یک مدل معنایی برای خوشه‌بندی ویژگی‌ها بر اساس وابستگی آنها به افراد هدف و سازگاری آنها با کدهای احراز هویت افراد ارائه شده است. این مدل معنایی ضمن کمک به کاهش حجم پردازش اطلاعات برای سیستم‌های پردازشگر سیار به صورت بهینه از مهم‌ترین ویژگی‌های موجود استفاده می‌کند. با توجه به این فرآیندها، ویژگی‌ها به سه دسته تقسیم شده و با کمک روش‌های پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و خوشه بندی K-Means فازی، مجموعه ۷۷ ویژگی در سه گروه ۲، ۴ و ۲۴ طبقه بندی می‌شوند. در مجموع از ۳۰ ویژگی برای شناسایی تصویر چهره افراد استفاده شده است. در این مرحله، ویژگی‌های انتخاب شده و دسته‌بندی شده به ترتیب توسط گروه‌های ۲، ۴ و ۲۴ وارد سه سیستم یادگیری ماشین به نام‌های ANN، ANFIS و DT می‌شوند. آموزش با کمک این داده‌ها انجام می‌شود. اکنون برای داده‌های تصویر آزمایش شده، دقت احراز هویت هر فرد برای هر سیستم یادگیری ماشینی محاسبه می‌شود. شکل (۳) نتایج دقت شناسایی ۵ فرد آزمایش شده را برای هر سه سیستم یادگیری ماشینی به صورت نمودار میله‌ای نشان می‌دهد. در نهایت نتایج تصمیم‌گیری برای تصویر آزمایشی با کمک سیستم منطق فازی نمایش داده شده است. برای نمونه تصویر آزمایش شده، تا ۹۸/۵ درصد تشخیص صحیح چهره با کمک سیستم منطق تصمیم‌گیری فازی تضمین شده است.

۵- نتیجه

در این کار، یک روش احراز هویت چهره پویا مبتنی بر مدل معنایی با کمک خوشه‌بندی ویژگی با روش K-Means فازی و انتخاب ویژگی تطبیقی توسعه داده شده. روش‌های مهندسی ویژگی توسعه داده شده برای نشان دادن نشانه‌های زمان چالش و ویژگی‌های چهره مؤثر هستند. همچنین، مجموعه‌ای از معماری‌های یادگیری ماشین پیشنهاد و پیکربندی شده‌اند تا تأیید چهره را به طور مؤثر انجام دهند. مطالعه انجام شده رویکردی مؤثر برای سیستم‌های احراز هویت چهره ارائه می‌کند که می‌تواند در حوزه بانکداری موبایلی مورد استفاده قرار گیرد و امنیت حساب‌های بانکی و اعتماد مشتریان را افزایش دهد. در تحقیقات آتی، پارادایم‌هایی پیشنهاد شده‌اند که می‌توانند انواع مختلف حملات مبتنی بر بانکداری آنلاین و رسانه‌ای (حملات چاپی، حملات صفحه نمایش، ماسک‌های دوبعدی، ویدئوهای سرقت شده از رسانه، جعلی‌های عمیق) را شناسایی کنند.

مراجع

- [1] Smith-Creasey M, Albaloooshi FA, & Rajarajan M (2018) Continuous face authentication scheme for mobile devices with tracking and liveness detection. *Microprocess Microsyst* 63:147-157.

- [23] Bezdek JC (1980) A convergence theorem for the fuzzy ISODATA clustering algorithms. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* 1-8.
- [24] Li MJ, Ng MK, Cheung Ym. & Huang JZ (2008) Agglomerative fuzzy K-Means clustering algorithm with selection of number of clusters. *IEEE Trans Knowl Data Eng* 20:1519-1534.
- [25] Naruei I & Keynia F (2021) Wild horse optimizer: A new meta-heuristic algorithm for solving engineering optimization problems. *Eng Comput* 1-32.
- [26] Wu YL, Tang CY, Hor MK & Wu PF (2011) Feature selection using genetic algorithm and cluster validation. *Expert Syst Appl* 38:2727-2732.
- [27] Venkatesh B & Anuradha J (2019) A review of feature selection and its methods. *Cybern Inf Technol* 19:3-26.
- [28] Malhotra R, Singh N & Singh Y (2011) Genetic algorithms: Concepts, design for optimization of process controllers. *Comput Sci Inf Syst* 4:39.
- [29] Pei M, Goodman E & Punch W. in Proceedings of the 1st International Symposium on Intelligent Data Engineering and Learning, IDEAL. 371-384.
- [30] Suardani LGP, Bhaskara IMA & Sudarma M (2018) Optimization of Feature Selection Using Genetic Algorithm with Naïve Bayes Classification for Home Improvement Recipients. *Int J Eng Emerging Technol* 3:66-70.
- [31] Huszár VD & Adhikarla VK (2021) Live spoofing detection for automatic human activity recognition applications. *Sensors* 21:7339.
- [32] Milborrow S, Morkel J & Nicolls F (2010) The MUCT landmarked face database. *Pattern recognition association of South Africa* 201.
- [33] Cherifi F, Hemery B, Giot R, Pasquet M & Rosenberger C (2010) in Behavioral biometrics for human identification: Intelligent applications 57-74 (IGI Global, 2010).
- [34] Maglogiannis I, Iliadis L, Macintyre J & Cortez P (2022) Artificial Intelligence Applications and Innovations: 18th IFIP WG 12.5 International Conference, AIAI 2022, Hersonissos, Crete, Greece, June 17–20, 2022, Proceedings, Part II. Vol. 647 (Springer Nature, 2022).
- [35] Eberz S, Rasmussen KB, Lenders V & Martinovic I (2017) in Proceedings of the 2017 ACM on Asia conference on computer and communications security. 386-399.
- [36] Buriro A, Crispo B, Frari FD, Klardie J & Wrona K: in International conference on passwords. 45-61 (Springer).
- [37] Kumar R, Phoha VV & Raina R (2016) Authenticating users through their arm movement patterns. *arXiv preprint arXiv:1603.02211*.
- [38] Shrestha B, Mohamed M & Saxena N (2016) Walk-unlock: Zero-interaction authentication protected with multi-modal gait biometrics. *arXiv preprint arXiv:1605.00766*.
- [39] Ehatisham-ul-Haq M et al (2017) Authentication of smartphone users based on activity recognition and mobile sensing. *Sensors* 17:2043.
- [40] Li G & Bours P (2018) in 2018 21st International Conference on Information Fusion (FUSION). 2091-2097 (IEEE).
- [41] Buriro A, Crispo B & Conti M (2019) AnswerAuth: A bimodal behavioral biometric-based user authentication scheme for smartphones. *J Inf Secur Appl* 44:89-103.
- [42] Volaka HC, Alptekin G, Basar OE, Isbilen M & Incel OD (2019) Towards continuous authentication on mobile phones using deep learning models. *Procedia Comput Sci* 155:177-184.
- [2] Jafri R & Arabnia HR (2009) A survey of face recognition techniques. *J Inf Process Syst* 5:41-68.
- [3] Mohan J, & Rajesh R (2021) Enhancing home security through visual cryptography. *Microprocess Microsyst* 80:103355.
- [4] Adesuyi F A, Oluwafemi O, Oludare AI & Rick A (2013) Secure authentication for mobile banking using facial recognition.
- [5] Stragapede G et al. (2022) Mobile behavioral biometrics for passive authentication. *Pattern Recognit Lett* 157: 35-41.
- [6] Saxena N & Varshney D (2021) Smart Home Security Solutions using Facial Authentication and Speaker Recognition through Artificial Neural Networks. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering* 2:154-164.
- [7] Zeroual A, Amroune M, Derdour M & Bentahar A (2021) Lightweight deep learning model to secure authentication in Mobile Cloud Computing. *J. King Saud Univ. - Comput Inf Sci*.
- [8] Pérez JC, Alfara M, Thabet A, Arbeláez P & Ghanem B (2022) Towards Assessing and Characterizing the Semantic Robustness of Face Recognition. *arXiv preprint arXiv:2202.04978*.
- [9] Gong D, Zhu K, Li Z & Qiao Y (2013) in 2013 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA). 1369-1374 (IEEE).
- [10] El-Soud MWA, Gaber T, AlFayez F & Eltoukhy MM (2021) Implicit authentication method for smartphone users based on rank aggregation and random forest. *Alex Eng J* 60:273-283.
- [11] Shu Y et al. in Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 11916-11925.
- [12] Samangouei P, Patel VM & Chellappa R (2017) Facial attributes for active authentication on mobile devices. *Image Vis Comput* 58:181-192.
- [13] Yanakova E, Ishkova T, Belyaev A, Koldaev V & Kolobanova M (2019) in 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). 1848-1851 (IEEE).
- [14] Gudi A (2015) Recognizing semantic features in faces using deep learning. *arXiv preprint arXiv:1512.00743*.
- [15] Almudhahka NY, Nixon MS & Hare JS (2017) in 2017 12th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017). 180-185 (IEEE).
- [16] de Castro D C & Nowozin S: in Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). 745-761.
- [17] Choi HS & Cho YH (2019) Analysis of Security Problems of Deep Learning Technology. *Journal of the Korea Convergence Society* 10: 9-16.
- [18] Najafabadi MM et al. (2015) Deep learning applications and challenges in big data analytics. *J Big Data* 2:1-21.
- [19] Kim Th: in International Conference on Information Security and Assurance. 138-148 (Springer).
- [20] Sujatha K et al. in Proceedings of International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology and Management (SUSCOM), Amity University Rajasthan, Jaipur-India.
- [21] Redla SS, Mallik B & Mangalampalli VK (2020) in 2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA). 223-229 (IEEE).
- [22] Ruspini EH (1969) A new approach to clustering. *Information and control* 15:22-32.



- [43] Lamiche I, Bin G, Jing Y, Yu Z & Hadid A (2019) A continuous smartphone authentication method based on gait patterns and keystroke dynamics. *J Ambient Intell Humaniz Comput* 10: 4417-4430.
- [44] Abuhamad M, Abuhmed T, Mohaisen D & Nyang D (2020) AUToSen: Deep-learning-based implicit continuous authentication using smartphone sensors. *IEEE Internet Things J* 7:5008-5020. Object Management Group. Unified Modeling Language: Superstructure, Version 2.0, ptc/03-07-06, July 2003, <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?ptc/2003-08-02>.





Islamic Azad University, Shiraz Branch

نشریه تحلیل مدارها، داده‌ها و سامانه‌ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis

sanad.iau.ir/journal/jcda



یک استراتژی شارژ چند هدفه تحت عدم قطعیت برای شبکه‌های حسگر قابل شارژ بی‌سیم از طریق بهینه‌سازی استقرار چند پهپاد به کمک الگوریتم فراابتکاری

پیمان حبیبی^۱، گوران حسنی‌فرد^{۱*}، عبدالباقی قادرزاده^۲، آریز نصرت‌پور^۱

۱- گروه مهندسی برق، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

hassanifardgoran@gmail.com

۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

b.ghaderzadeh@iausdj.ac.ir

چکیده: در این مقاله، به ارائه یک رویکرد برنامه‌ریزی برای مسیر حرکت پهپادهای قابل شارژ و زمان‌بندی شارژ گره‌های حسگر تحت عدم قطعیت در میزان انتقال داده و مصرف انرژی در گره‌ها با کمک الگوریتم‌های شاهین هریس و بهینه‌سازی مبتنی بر گرادیان پرداخته شده است. در این کار با در نظر گرفتن نابرابری‌ها و عدم قطعیت در محدودیت باتری و مصرف انرژی گره‌ها، استراتژی‌های زمان‌بندی جدید برای شبکه‌های حسگر قابل شارژ بی‌سیم به منظور افزایش توان عملیاتی شارژ و افزایش طول عمر شبکه ارائه شده است. در ابتدا با کمک اطلاعات موقعیت و انرژی باقیمانده گره‌ها، خوشه‌بندی گره‌ها به تعداد پهپادها توسط روش K-means ارائه شده است. سپس با توجه به تعریف تابع چندهدفه CUAV و به کمک الگوریتم‌های پیشنهادی، مسیریابی و زمان‌بندی شارژ هر یک از پهپادها از مبدا یکسان برنامه‌ریزی می‌شود. در تابع هدف تعریف شده تمام عدم قطعیت‌ها و نابرابری‌های شبکه برای تاخیر و مصرف انرژی و باتری گره‌ها لحاظ شده است. شبیه‌سازی تحت نرم‌افزار متلب انجام شد. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی مبتنی بر روش بهینه‌سازی شاهین هریس جواب‌های بهتری از لحاظ افزایش طول عمر شبکه و کاهش تاخیر و بهینه‌سازی مصرف انرژی توسط پهپادها را حاصل کرده است.

واژه‌های کلیدی: استراتژی شارژ چندهدفه، شبکه‌های حسگر قابل شارژ بی‌سیم، پهپادهای قابل شارژ، K-means، الگوریتم شاهین هریس

A non-disruptive multi-objective charging strategy for WRSN through multi-UAV deployment optimization using a meta-heuristic algorithm

Payman Habibi¹, Goran Hassanifard^{1*}, Abdulbaghi Ghaderzadeh², Arez Nosratpour¹

¹ Department of Electrical Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran
hassanifardgoran@gmail.com

² Department of Computer Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran
b.ghaderzadeh@iausdj.ac.ir

Abstract:

Here, a planning approach for CUAVs movement path and charging schedule of sensor nodes under uncertainty in data transfer rate and energy consumption in nodes with the help of Harris Hawks Optimization (HHO) and gradient-based optimization (GBO) algorithms have been presented. By considering the inequalities and uncertainty in the battery limit and energy consumption of the nodes, we will achieve new scheduling strategies for WRSNs to increase the charging throughput and increase the network lifetime. Initially, with the help of information about the position and remaining energy of the nodes, clustering of the nodes into the number of drones has been done by the K-means method.

* نویسنده مسئول



According to the definition of the multi-purpose function of CUAV and with the help of the proposed algorithms, the routing and charging schedule of each of the drones is planned. In the defined objective function, all uncertainties and inequalities of the network are included for the delay and consumption of energy and battery of the nodes. The simulation was done under MATLAB software. The results showed that the proposed method based on HHO has achieved better solutions in terms of increasing the network lifetime and reducing the delay and optimizing energy consumption.

Keywords: Multi-target charging strategy, Wireless Rechargeable Sensor Networks (WRSN), CUAV, K-means, Harris Hawks Optimization (HHO).

DOI: 00.00000/0000

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۲۳

برنامه‌ریزی شده همه حسگرها می‌باشد تا بتوان طول عمر شبکه را افزایش داد.

راه حل دیگر، استفاده از روش‌های برداشت انرژی برای کاهش محدودیت‌های انرژی گره‌های حسگر با شارژ مجدد است. روش برداشت انرژی با رویکرد موجود متفاوت است، به گونه‌ای که روش‌های برداشت انرژی به حسگرها اجازه می‌دهد در صورت نیاز، انرژی دریافت کنند؛ که کاملاً بر مسئله سیستم وابسته به باتری غلبه می‌کند. برداشت انرژی از محیط به عنوان راه‌حل امیدوارکننده‌ای برای ایجاد اتصال مداوم در گره‌های حسگر در یک شبکه در نظر گرفته می‌شود و طول عمر شبکه را بالا می‌برد. با این حال، روش مناسب سازماندهی گره‌های حسگر ضروری است زیرا وسایل نقلیه مسئول شارژ مجدد گره‌های حسگر، می‌بایستی از قبل از بازدیدها آگاه باشد، بنابراین شارژ مجدد گره‌های حسگر کار آسانی خواهد بود. این بالاترین نرخ شارژ و کارایی را در WRSN‌ها به همراه خواهد داشت. در این کار از پهنای به‌عنوان وسیله نقلیه قابل شارژ گره‌ها استفاده شده است. علت آن هم عدم استفاده از مسیریابی پیچیده برای حرکت در بین حسگرها می‌باشد و موانع حرکتی کمتری وجود دارد.

یک مساله مهم برای WRSN، کاهش زمان انتقال انرژی به گره‌های بحرانی است. بنابراین در این مقاله از چند پهنای قابل شارژ برای انتقال انرژی استفاده شده است. این کار، کمک خوبی به WRSN برای افزایش طول عمر شبکه می‌کند اما برنامه‌ریزی چند پهنای برای شبکه، کار پیچیده‌ای است. بنابراین، در این مقاله، یک برنامه‌ریزی شارژ شبکه با تعریف یک تابع چندهدفه برای مسیریابی چند پهنای مبداء و خوشه‌بندی گره‌ها با روش k-mean بهره خواهیم برد. برای حل مساله که به‌عنوان یک مساله NP-Hard در نظر گرفته شده از دو الگوریتم بهینه‌سازی شاهین‌هریس (HHO) و بهینه‌سازی مبتنی بر گردایان (GBO) استفاده شده است. نکته قابل توجه در این کار، تعریف تابع چند هدفه بر اساس نابرابری‌های اندازه انرژی باتری‌های شبکه و عدم قطعیت‌های موجود در توان مصرفی هر گره و توزیع کاملاً تصادفی حسگرها درون شبکه است. استراتژی پیشنهادی، شامل یک راهکار نوآورانه برای افزایش طول عمر گره‌ها با ارائه یک برنامه شارژ مدون با کمک الگوریتم‌های فراابتکاری و چندین پهنای با سرعت‌های مختلف می‌باشد.

۱- مقدمه

یک شبکه حسگر بی‌سیم متشکل از تعداد زیادی از دستگاه‌های بسیار کوچک است که گره‌های حسگر نامیده می‌شوند [۱]. گره‌های حسگر عموماً مجهز به قابلیت‌های حسگری، پردازشی و ارتباطی هستند. گره‌های حسگر از نظر مکانی توزیع شده هستند و شرایط مربوط به محیط اطراف خود را اندازه‌گیری می‌کنند. وظیفه اصلی گره‌های حسگر، جمع‌آوری نقاط داده در فواصل زمانی منظم و تبدیل آن به یک سیگنال الکترونیکی و انتشار سیگنال به گره‌ی سینک یا ایستگاه مبدا از طریق رسانه‌های ارتباطی بی‌سیم قابل اطمینان است. مهمترین دلیل پیدایش و توسعه شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کاربردهای پایش مداوم محیط‌هایی بوده است که دستیابی و حضور دائمی انسان در آن‌ها، سخت یا ناممکن می‌باشد؛ در نتیجه معمولاً شارژ مجدد یا تعویض گره‌های مرده (از کار افتاده به دلیل اتمام منبع انرژی) امکان‌پذیر نمی‌باشد، زیرا همانطور که گفته شد این گره‌ها معمولاً در محیط‌ها و شرایط سخت، خشن و غیرقابل دسترس قرار گرفته و اغلب بصورت تصادفی و اقتضایی در محیط پراکنده می‌شوند [۲].

با توجه به ماهیت بی‌سیم حسگرها، آنها عمدتاً دستگاه‌هایی با باتری هستند و از این رو می‌توانند برای مدت زمان محدودی کار کنند [۳]. تلاش‌های تحقیقاتی گسترده‌ای از چند سال گذشته برای افزایش طول عمر گره‌های حسگر برای WSN‌ها انجام شده است. روش‌های معمولی که برای بهبود طول عمر به کار می‌روند را می‌توان به دو بخش دسته‌بندی کرد. اولین بخش، معروف به "روش‌های موجود" برای به حداقل رساندن استفاده از انرژی در WSN‌ها شامل پیاده‌سازی راه-حل‌های بی‌سیم کارآمد انرژی، معماری نرم‌افزاری کمتر پیچیده و طراحی سخت‌افزار کم‌مصرف است [۴]. اخیراً، پیشرفت‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، فناوری انتقال انرژی و شارژ بی‌سیم را قادر ساخته تا به طور موثر انرژی را به گره‌های حسگر تخلیه‌شده در یک محیط شبکه حسگر قابل شارژ بی‌سیم معمولی (WRSN) برسانند. با این فناوری فعلی، فرآیند شارژ توسط یک وسیله نقلیه شارژ بی‌سیم (WCV) انجام می‌شود که به شارژ هر گره حسگر در شبکه کمک می‌کند. همیشه این احتمال وجود دارد که انرژی اکثر حسگرها در حالی که WCV در حال سرویس‌دهی به سایر گره‌های حسگر در شبکه است، تخلیه شود [۵]. بنابراین برای طراحی WRSN نیازمند یک استراتژی برای شارژ



Wandering و الگوریتم Eight-Wandering پیشنهاد شده که در برنامه‌ریزی مسیر شارژ متفاوت هستند. در [۷]، یک مسئله بهینه‌سازی استقرار شارژ وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین فرموله شده تا به طور مشترک تعداد گره‌های شبکه حسگر قابل شارژ بی‌سیم را افزایش دهد که در محدوده شارژ CUAVها، راندمان شارژ را در شبکه بهبود بخشد و مصرف انرژی حرکتی CUAV در طول مسیر را کاهش دهد. سپس، مساله با یک الگوریتم کرم شب‌تاب بهبود یافته (IFA) حل شده است. مقاله [۸] یک طرح شارژ چند گره بر اساس تقاضا برای تقاضای حسگرها به دنبال یک مدل شارژ جزئی دوگانه پیشنهاد می‌کند. اول، برنامه‌های شارژ MCV از طریق نقاط توقف بهینه با ادغام الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمسلط (NSGA-II) و رویکرد تصمیم‌گیری چند ویژگی (MADM) تولید می‌شوند. سپس زمان شارژ در هر نقطه توقف برای SNها با کمک یک تایمر شارژ جزئی تعیین می‌شود. همچنین در [۹]، یک استراتژی شارژ فوری بر اساس تقاضا پیشنهاد شده است که ویژگی‌های حوزه مکانی، دامنه زمانی و حوزه رویداد گره‌ها را متحد می‌کند. این استراتژی چندین منطقه فرعی را بر اساس الگوریتم K-means بهبود یافته تشکیل می‌دهد و یک وسیله نقلیه شارژ بی‌سیم برای گره‌های شارژ در هر زیر منطقه اختصاص داده شده است. فاصله گره‌ها و WCV، انرژی باقی‌مانده گره‌ها و نرخ مصرف انرژی گام به گام یکپارچه و کوانتیزه می‌شوند، که اولویت شارژ واحد را شکل می‌دهد. اولویت شارژ واحد WCV را هدایت می‌کند تا گره‌ها را یک به یک در هر زیر منطقه شارژ کند. شبیه‌سازی‌ها، مزیت این استراتژی نسبت به دو استراتژی پیشرفته را نشان دادند.

در [۱۰]، یک سناریوی ترکیبی مساله فروشنده مسافر و مساله جهت‌یابی در نظر گرفته شده که در آن هدف بهینه‌سازی، به حداقل رساندن انرژی تخلیه‌شده خودروی تحویل نیرو و به حداکثر رساندن انرژی شارژ شده دستگاه‌ها است. در این مورد، یک برنامه‌ریز ماموریت سبک وزن و قابل اعتماد ارائه می‌کند که با ترکیب جستجوی آفلاین و ارزیابی مجدد آنلاین، با یک برنامه‌ریز مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری الهام گرفته از سیاه‌چاله، مساله را حل می‌کند. مقاله [۱۱] یک استراتژی شارژ مبتنی بر تقاضا برای WRSNها پیشنهاد می‌کند که برنامه‌ریزی شارژ را به چهار روش خوشه‌بندی، انتخاب گره‌های قابل شارژ، مسیر شارژ و زمان‌بندی شارژ بهبود داده است. ابتدا، یک الگوریتم خوشه‌بندی K-means (MIKmeans) چند نقطه‌ای برای متعادل کردن مصرف انرژی پیشنهاد شده که می‌تواند گره‌ها را بر اساس مکان، انرژی باقی‌مانده و سهم تاریخی گروه‌بندی کند. سپس، الگوریتم انتخاب پویا برای گره‌های شارژ (DSACN) پیشنهاد شد و انتخاب گره‌های شارژ بر اساس تقاضا انجام می‌شود. آنگاه، شبیه‌سازی تبرید بر اساس عملکرد و کارایی برای بهینه‌سازی مسیر شارژ برای یک وسیله نقلیه شارژ سیار و کاهش زمان شارژ طراحی شده است.

مقاله [۱۲] یک MMCCS آنلاین (استراتژی شارژ تعاونی چندگانه) برای شارژهای موبایل چندگانه (MC) پیشنهاد می‌کند که پارتیشن استاتیک و همکاری پویا را فراهم می‌کند. هدف طرح توسعه یافته، حل مشکل نرخ بالای حفره انرژی در شبکه‌های حسگر

در این کار، برای بررسی عملکرد طرح پیشنهادی از یک مدل واقعی در حضور عدم قطعیت‌های مربوط به شارژ توسط پهپادها استفاده شده و مصرف انرژی گره‌ها و محدودیت‌های شارژ، مختلف است. از جنبه‌های دیگر نوآوری استراتژی پیشنهادی، استفاده از یک خوشه‌بندی اختصاصی گره‌های حسگر برای برنامه شارژ متناسب با سرعت‌های مختلف پهپادها می‌باشد. به طور کلی، کار پژوهشی به شرح زیر تدوین شده است:

- ۱- خوشه‌بندی گره‌های WRSN به تعداد پهپادهای تعریف شده در شبکه بر اساس موقعیت گره‌های حسگر و انرژی باقیمانده هر گره.
- ۲- تعریف تابع چند هدفه بر اساس تاخیر مسیر پرواز پهپاد، طول مسیر، توان عملیاتی و انرژی باقی‌مانده هر گره و زمان شارژ هر حسگر.
- ۳- اختصاص هر خوشه به هر یک از پهپادها با سرعت‌های پرواز یکسان یا متغیر.
- ۴- حل مساله تابع چند هدفه با کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی شاهین‌هریس و بهینه‌سازی مبتنی بر گرادیان برای هر خوشه.
- ۵- مقایسه نتایج مربوط به طول عمر و زمان شارژ همه گره‌های بحرانی و میانگین انرژی باقیمانده.

بقیه مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. بخش ۲ بررسی مروری مقالات را نشان می‌دهد. بخش ۳ مفاهیم اولیه را با انگیزه یافتن توپولوژی بهینه برای راه‌حل کارآمد مساله، نشان می‌دهد و بخش ۴ تکنیک‌های پیشنهادی و تابع چندهدفه مرتبط با شبکه WRSN را مورد بحث قرار می‌دهد. بخش ۵ نتیجه کار پیشنهادی و تکنیک‌های موجود را مقایسه می‌کند. در نهایت بخش ۶ مقاله را با نتیجه‌گیری به پایان می‌رساند.

۲- کارهای مروری

مسئله شارژ در شبکه‌های حسگر قابل شارژ بی‌سیم و اینترنت اشیا یک چالش تحقیقاتی رایج است. با استفاده از فناوری انتقال انرژی بی-سیم، می‌توان انرژی الکتریکی را از تجهیزات شارژ بی‌سیم (WCE) به حسگرها منتقل کرد و الگویی جدید برای افزایش طول عمر شبکه ارائه داد. تحقیقات موجود معمولاً از روش شارژ دوره‌ای و قطعی استفاده می‌کند، اما انرژی محدود WCE و تأثیر عوامل غیر قطعی مانند تغییرات توپولوژیکی و نابرابری توان مصرفی حسگرها را نادیده می‌گیرد و آنها را برای شبکه‌های واقعی نامناسب می‌کند. همچنین برنامه‌ریزی برای یک سیستم شارژ چندگانه از چالش‌های این کار به حساب می‌آید. در این بخش به مطالعه و مقایسه کارهای انجام شده در این حوزه پرداخته می‌شود.

در [۶]، یک مسئله برنامه‌ریزی شارژ برای شارژهای متعدد، یعنی مسئله حداکثرسازی بازده انرژی شارژ برای شارژهای چندگانه در WRSNها (مسئله CEEM-MC) با هدف به حداکثر رساندن بازده انرژی شارژ فرآیند شارژ با اختصاص مقدار شارژ و برنامه‌ریزی مسیر شارژ، معرفی می‌شود و سختی NP آن را اثبات می‌کند. برای متعادل کردن مصرف شارژ در میان شارژهای متعدد، دو الگوریتم Ring-



قابل شارژ بی سیم (WRSN) با پیشنهاد یک معماری شارژ بر اساس تقاضا است که نرخ حفره انرژی شبکه را به حداقل می‌رساند. به طور خاص، استراتژی مورد نظر با پارتیشن سرویس تجهیزات شارژ چند موبایلی و پارتیشن آستانه درخواست شارژ گره حسگر (SN) معرفی می‌شود. سپس بر اساس این مدل، برنامه‌ریزی مسیر شارژ آنلاین چند MC پویا و مشارکتی برای به حداقل رساندن نرخ حفره انرژی WRSN انجام می‌شود. در [۱۳]، استراتژی شارژ WCV در WRSN با در نظر گرفتن دو پدیده اهمیت گره‌های حسگر مختلف در انتقال داده و مصرف انرژی نابرابر، مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت گره حسگر که با فاصله تا ایستگاه پایه مرتبط است، گره‌های حسگر به دو نوع تقسیم می‌شود: گره‌های حسگر درون حلقه و گره‌های حسگر بیرون حلقه. یک مدل شارژ پیشنهاد می‌شود، WCV استراتژی‌های شارژ متفاوتی را برای گره‌های حسگر مختلف اتخاذ می‌کند. برای کارآمدتر کردن شارژ، WCV گره‌های حسگر را یکی یکی در درون حلقه شارژ می‌کند و سپس چندین گره حسگر را به طور همزمان در حلقه بیرونی شارژ می‌کند. برای تخمین طول عمر شبکه، یک متریک جدید به نام زمان مرده نرمال شده پیشنهاد شده است. به حداکثر رساندن طول عمر شبکه به عنوان به حداقل رساندن مجموع زمان مرده نرمال شده مدل می‌شود، و یک الگوریتم کارآمد برای به حداقل رساندن مجموع زمان مرده نرمال شده از طریق جستجوی دنباله‌های زمان شارژ بهینه پیشنهاد شده است. سپس، از طریق تخصیص مجدد زمان‌های شارژ گره‌های حسگر، الگوریتم حداقل هزینه سفر پیشنهادی فاصله سفر WCV را به حداقل می‌رساند و طول عمر شبکه را تضمین می‌کند. همچنین یک گره سرخوشه مستقر شده که ظرفیت باتری بیشتری در هر خوشه دارد و می‌تواند سایر گره‌های حسگر را در یک فاصله محدود شارژ کند. الگوریتمی برای پیش توزیع انرژی گره سرخوشه پیشنهاد شده است. در نهایت، عملکرد الگوریتم-های پیشنهادی توسط متلب تایید می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد WRSN را می‌توان با الگوریتم‌های پیشنهادی بهبود بخشید.

مقاله [۱۴] یک چارچوب به کمک وسیله نقلیه برای شارژ حسگرها در WRSN پیشنهاد کرده و یک مسئله زمان‌بندی شارژ زیستی را فرموله کرده، که در آن WCVها سفر خود را از یک ایستگاه پایه شروع می‌کنند، حسگرها را شارژ می‌کنند و در نهایت با یک دستگاه به ایستگاه پایه بازمی‌گردند. هدف این است که تعداد حسگرهای زنده را به حداکثر برساند و در عین حال کل انرژی مصرف شده برای حرکت WCV را به حداقل برساند. یک کران بالا درصد حسگرهایی که می‌توانند شارژ شوند نیز به دست می‌آید. در [۱۵]، یک WRSN مبتنی بر خوشه‌بندی سلسله مراتب تطبیقی کم‌انرژی (LEACH) در نظر گرفته شده و یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه استقرار MCV (MDMaOP) را برای شارژ گره‌های حسگر در محدوده‌های شارژ، فرموله می‌کند. از MCVها، مصرف انرژی حرکتی MCVها، انرژی باقیمانده گره با کمترین انرژی باقیمانده و فاصله بین MCVها و گره‌های حسگر به طور همزمان بهینه شده اند تا طول عمر شبکه را افزایش دهند. علاوه بر این، MDMaOP فرموله شده به

عنوان NP-hard تجزیه و تحلیل و اثبات می‌شود. سپس، یک رویکرد بهینه‌سازی سریع و یک رویکرد بهینه‌سازی دقیق برای حل مسئله فرمول‌بندی شده و به منظور برآوردن نیازهای زمان و دقت محاسبه در سناریوهای مختلف پیشنهاد می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش‌های پیشنهادی برای افزایش طول عمر شبکه موثر بوده و از برخی الگوریتم‌های مقایسه دیگر بهتر عمل می‌کنند.

با توجه به مطالعات مختلف انجام شده، الگوریتم‌های هوش محاسباتی متعددی برای یافتن راه‌حل بهینه برای مسائل برنامه‌ریزی WRSN در دسترس هستند، اما همچنان، نیاز به دستیابی به الگوریتم بهینه‌سازی سرعت همگرایی سریع برای برنامه‌ریزی شارژ با متعادل کردن بهینه طول عمر شبکه حسگر و میانگین انرژی تلفاتی شارژرها وجود دارد. الگوریتم هوش محاسباتی جدید طراحی شده [۱۸] که در آن نویسنده ادعا می‌کند که الگوریتم HHO از نظر نتایج آماری در مقایسه با سایر بهینه‌سازهای معروف عملکرد بهتری دارد. بنابراین، جستجوی پیشرفته دقیق در مجلات تحقیقاتی معتبر نشان داد که این الگوریتم کارآمد جدید HHO تا کنون برای حل مساله تابع چند هدفه برنامه‌ریزی WRSN با کمک چند پهباد استفاده نشده است. بنابراین سهم اصلی این مقاله عبارتند از:

- ۱- الگوریتم HHO جدید طراحی شده توسط حیدری و همکاران [۱۸] برای حل مشکل برنامه‌ریزی در WRSN استفاده می‌شود.
- ۲- اجرای کار پیشنهادی با استفاده از MatLab Tool ارائه شده است.
- ۳- طراحی مقاله با سایر الگوریتم‌های هوش محاسباتی مانند GBO مقایسه شده است.
- ۴- پارامترهای بررسی عملکرد برای کار پیشنهادی از نظر میانگین انرژی باقیمانده، هزینه تلفاتی انرژی، و تاخیر کل شارژ یک دوره.

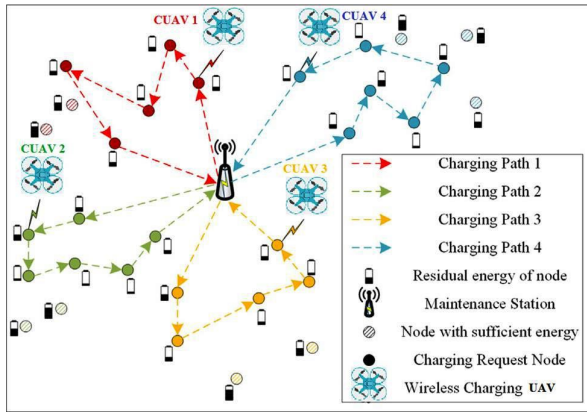
۳- مفاهیم اولیه

۳-۱- معماری شبکه حسگر بی سیم قابل شارژ مورد

مطالعه

همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده، یک WRSN توسط چارچوب چندین CUAV بر اساس تقاضا پیکربندی شده که شامل چندین حسگر ثابت با ظرفیت باتری متغیر است که به طور تصادفی در یک منطقه خاص توزیع شده است. هر دو CUAV و گره‌ها به ماژول-های GPS (یا یک روش محلی‌سازی) و باتری‌هایی با ظرفیت محدود متفاوت مجهز هستند. وظیفه اصلی گره‌ها حس کردن، جمع‌آوری و ارائه اطلاعات از محیط است. گره‌ها تحت پروتکل پیش‌فرض (انتشار هدایت شده) با هم ارتباط برقرار می‌کنند. CUAVهای در حال انجام می‌توانند در کل منطقه نظارت شده حرکت کنند و انرژی را برای گره‌های درخواست شارژ که انرژی آن‌ها کمتر از آستانه است، دوباره شارژ کنند. ایستگاه تعمیر و نگهداری وظیفه جمع‌آوری و ادغام داده‌ها برای کل منطقه تحت نظارت را بر عهده دارد، علاوه بر این، دارای ذخایر انرژی بی‌نیاز است و می‌تواند برای همه CUAVها شارژ شود.





شکل (۱): معماری شارژ بر اساس تقاضای WRSN با چهار CUAV

[۴]

با جایگزینی موقعیت بهترین بردار (X_{best}) با بردار فعلی (X_n^m)

برای (۱)، بردار جدید ($X2_n^m$) را می‌توان به صورت زیر تولید کرد:

$$step = \frac{(x_{best} - x_{r1}^m) + \delta}{2} \quad (7)$$

$$\delta = 2 \times rand \times \left(\left| \frac{x_{r1}^m + x_{r2}^m + x_{r3}^m + x_{r4}^m}{4} - x_n^m \right| \right) \quad (8)$$

بر اساس موقعیت‌های $X1_n^m$ و $X2_n^m$ ، موقعیت فعلی (X_n^m)،

راه‌حل جدید در تکرار بعدی (X^{m+1}_n) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$X_n^{m+1} = r_a \times (r_b \times X1_n^m + (1 - r_b) \times X2_n^m) + (1 - r_a) \times X3_n^m \quad (12)$$

$$X3_n^m = X_n^m - \rho_1 \times (X2_n^m - X1_n^m) \quad (13)$$

۳-۴- اپراتور محلی فرار (LEO)

اپراتور محلی فرار، دومین اپراتور معرفی شده توسط GBO است.

LEO معرفی شده تا GBO همچنان در برخورد با مشکلات پیچیده با

ابعاد بالا موثر باشد. LEO با استفاده از چندین راه‌حل، از جمله بهترین

موقعیت (X_{best})، راه‌حل‌های $X1_n^m$ و $X2_n^m$ ، دو راه‌حل تصادفی X_{r1}^m و

X_{r2}^m ، و یک راه‌حل تصادفی جدید (X_{r3}^m) بهترین مسیر را انتخاب می‌کند.

راه‌حل X_{LEO}^m توسط طرح زیر تولید می‌شود [۱۶]:

$$\text{if } rand < pr \quad (14)$$

$\text{if } rand < 0.5$

$$X_{LEO}^m = X_n^{m+1} + f_1 \times (u_1 \times x_{best} - u_2 \times x_k^m) +$$

$$f_2 \times \rho_1 \times (u_3 \times (X2_n^m - X1_n^m) + u_2 \times (x_{r1}^m - x_{r2}^m)) / 2$$

$$X_n^{m+1} = X_{LEO}^m$$

else

$$X_{LEO}^m = X_{best} + f_1 \times (u_1 \times x_{best} - u_2 \times x_k^m) + f_2 \times \rho_1 \times (u_3 \times (X2_n^m - X1_n^m) + u_2 \times (x_{r1}^m - x_{r2}^m)) / 2$$

$$X_n^{m+1} = X_{LEO}^m$$

End

End

که در آن f_1 یک عدد تصادفی در بازه $[0, 1]$ است. f_2 یک عدد

تصادفی از یک توزیع نرمال با میانگین ۰ و انحراف استاندارد ۱ است،

۳-۲- بهینه‌ساز مبتنی بر گرادیان (GBO)

الگوریتم فراابتکاری اولین بار در سال ۲۰۲۰ توسط ایمان احمدیان فر و

همکاران برای حل مسائل بهینه‌سازی مربوط به برنامه‌های مهندسی

ارائه شد. کاوش و بهره‌برداری، دو مرحله اصلی در الگوریتم‌های

فراابتکاری هستند که هدف آن‌ها بهبود سرعت همگرایی و یا اجتناب

بهینه محلی از الگوریتم هنگام جستجوی یک هدف موقعیت است. به

منظور ایجاد یک مبادله مناسب بین اکتشاف و بهره‌برداری، GBO

مدیریت می‌شود تا از دو عملگر اصلی استفاده کند: قانون جستجوی

گرادیان (GSR) و اپراتور محلی فرار (LEO). یک معرفی ساده از این

الگوریتم در زیر توضیح داده شده است [۱۶].

۳-۳- قانون جستجوی گرادیان (GSR)

ابتدا، GBO اولین عملگر GSR را پیشنهاد می‌کند که به GBO

کمک کند تا رفتار تصادفی را در فرآیند بهینه‌سازی در نظر بگیرد و

همچنین کاوش و اجتناب از بهینه محلی را تسهیل کند. حرکت جهت-

دار (DM) به GSR اضافه می‌شود که برای انجام یک فرآیند جستجوی

محلی مناسب برای تسهیل سرعت همگرایی الگوریتم GBO استفاده

می‌شود. بر اساس GSR و DM، از (۱) برای به‌روزرسانی موقعیت بردار

فعلی (X_n^m) استفاده می‌شود [۱۶].

$$X1_n^m = x_n^m - randn \times \rho_1 \times \frac{2\Delta x \times x_n^m}{x_{worst} - x_{best} + \epsilon} + rand \times \rho_2 \times (x_{best} - x_n^m) \quad (1)$$

$$\rho_1 = x \times rand \times a - a \quad (2)$$

$$\alpha = \left| \beta \times \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) + \sin\left(\beta \times \frac{3\pi}{2}\right) \right| \quad (3)$$

$$\beta = \beta_{min} + (\beta_{max} - \beta_{min}) \times \left(1 - \left(\frac{m}{M}\right)^3\right)^2 \quad (4)$$

که در آن β_{min} و β_{max} به ترتیب ۰/۲ و ۱/۲ هستند، m تعداد

تکرارها و M تعداد کل تکرارها است. $randn$ یک عدد تصادفی معمولی

توزیع شده است و $randn$ عدد کوچکی در محدوده $[0, 1]$ است.

پارامتر ρ_2 را می‌توان با استفاده از (۵) محاسبه کرد [۱۶]:

$$\rho_2 = 2 \times rand \times a - a \quad (5)$$

$$\Delta x = rand(1:N) \times |step| \quad (6)$$

$$X2_n^m = x_{best} - randn \times \rho_1 \times \frac{2\Delta x \times x_n^m}{yp_n^m - yq_n^m + \epsilon} + rand + \rho_2 \times (x_{r1}^m - x_{r2}^m) \quad (9)$$

$$yp_n = rand \times \left(\frac{[z_{n+1} + x_n]}{2} + rand \times \Delta x \right) \quad (10)$$

$$yq_n = rand \times \left(\frac{[z_{n+1} + x_n]}{2} - rand \times \Delta x \right) \quad (11)$$

که در آن $rand(1:N)$ یک عدد تصادفی N بعدی است،

$r1, r2, r3, r4$ که متقابلاً منحصر به فرد هستند، اعداد صحیح متفاوتی

هستند که به طور تصادفی از $[1, N]$ انتخاب شده‌اند، مرحله یک اندازه

گام است که با X_{best} و X_{r1}^m تعیین می‌شود.



چون کل واریانس ثابت است، از قانون واریانس کلی می‌توان نتیجه گرفت که این معادله برابر است با بیشینه کردن مربع انحرافات بین نقاط خوشه‌های مختلف (BCSS) [۱۷].

۳-۶- بهینه‌سازی شاهین‌هریس (HHO)

حیدری و همکاران [۱۸] یک الگوریتم هوش محاسباتی الهام گرفته از طبیعت را پیشنهاد کردند که از سبک رفتاری شاهین‌هریس برای تعقیب طعمه استفاده می‌کند. چندین شاهین با همدیگر هجوم می‌آورند تا طعمه را غافلگیر کنند. شاهین‌هریس یک استراتژی تعقیب مشارکتی منحصر به فرد بر اساس شرایط طبیعت پویا و استراتژی‌های فرار از طعمه دارد. شاهین‌ها روحیه تیمی نوآورانه‌ای را برای تعقیب قدرت از نظر شکار، دور زدن و خارج شدن از شکار نشان می‌دهند. مراحل اکتشاف و بهره‌برداری از الگوریتم HHO به شرح زیر است:

- مرحله اکتشاف: در اکتشاف، شاهین‌هریس چشمان قدرتمند خود برای یافتن طعمه استفاده می‌کند. شاهین‌هریس به طور تصادفی در چندین مکان مستقر شده است و آنها امکان شکار را در دو موقعیت بر اساس مقدار q بررسی می‌کنند. اگر $q > 0.5$ باشد، آنها به اندازه کافی به طعمه نزدیک هستند و روی بلندترین درخت تصادفی می‌نشینند که در (۱۸) مدل شده است.

$$X(t+1) = \begin{cases} X_{rand}(t) - r_1 |X_{rand}(t) - 2r_2 X(t)|, & q \geq 0.5 \\ X_{rand}(t) - r_1 |X_{rand}(t) - 2r_2 X(t)|, & q < 0.5 \end{cases} \quad (18)$$

جایی که $X(t+1)$ به عنوان تکرار t بعدی موقعیت بردار شاهین نشان داده می‌شود، $X_{rabbit}(t)$ موقعیت فعلی خرگوش را نشان می‌دهد، t به عنوان موقعیت فعلی دستفروشان نشان داده می‌شود، و r_4, r_3, r_2, r_1 و q دارای مقادیر تصادفی در بازه $(0, 1)$ هستند، LB و UB حد بالایی و پایینی متغیرها هستند، $X_{rand}(t)$ به عنوان شاهینی که به طور تصادفی از جمعیت فعلی انتخاب شده است، نشان داده می‌شود. t به عنوان میانگین موقعیت فعلی شاهین نشان داده می‌شود. نمودار جریان HHO در شکل (۳) آمده است.

- مرحله بهره‌برداری: در مرحله بهره‌برداری، فرصتی برای حمله به طعمه‌ای که از قبل شناسایی شده است، وجود دارد.

۴- طرح پیشنهادی

در بحث برنامه‌ریزی شارژ شبکه‌های حسگر بی‌سیم قابل شارژ، رویکردهای مختلفی در مقالات مختلف اشاره شد. به منظور یک مدل-سازی واقعی از WRSN، در این مقاله جوانب دقیقتر از برنامه‌ریزی لحاظ شد و نابرابری باتری حسگرها و عدم قطعیت در توان مصرفی حسگرها در تابع چند هدفه لحاظ شد. در این مورد یک مساله، مسیر حرکت وسیله نقلیه شارژر است که از یک سیستم انتقال هوایی پهنای چندگانه استفاده شد تا دشواری‌های مسیر برای محیط‌های مختلف شهری و موانع جابجایی مانند درختان و ساختمان‌ها به خوبی کاهش یابد، و بتوان از مسیریابی مستقیم بین گره‌های حسگر استفاده نمود و پیچیدگی‌های مسیر حرکت سایر شارژرهای متحرک نداشته باشد.

pr احتمال است، و u_1, u_2, u_3 سه عدد تصادفی هستند که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$u_1 = L_1 \times 2 \times rand + (1 - L_1) \quad (15)$$

$$u_2 = L_1 \times rand + (1 - L_1)$$

$$u_3 = L_1 \times rand + (1 - L_1)$$

که در آن L_1 یک پارامتر باینری با مقدار ۰ یا ۱ است. شکل ۲ • نمودار جریان الگوریتم GBO را نشان می‌دهد.

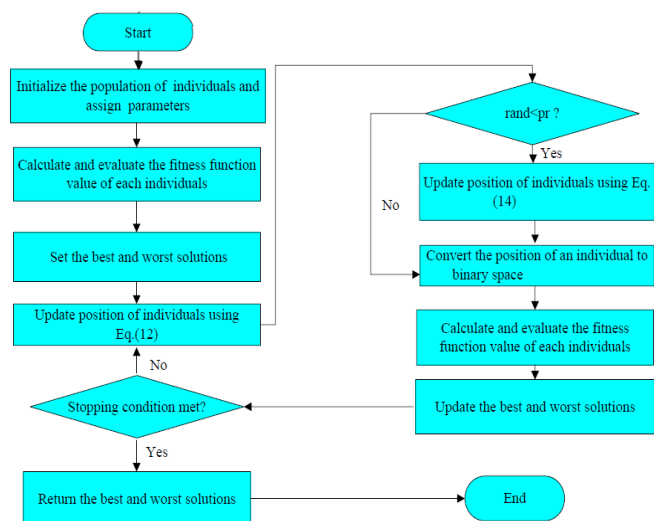
۳-۵- خوشه‌بندی k-means

خوشه‌بندی k-means یک روش کوانتیزاسیون برداری است که از پردازش سیگنال مشتق شده و برای تجزیه و تحلیل خوشه بندی در داده‌کاوای محبوب است. هدف k-means تجزیه n مشاهده به k خوشه است، جایی که هر مشاهده متعلق به خوشه‌ای با نزدیک‌ترین میانگین است، این میانگین به عنوان نمونه استفاده می‌شود. با توجه به مجموعه‌ای از مشاهدات $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ که در آن هر یک از مشاهدات یک بردار حقیقی d بعدی است. خوشه‌بندی K -میانگین با هدف پارتیشن‌بندی n مشاهدات به $K \leq N$ مجموع $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_k\}$ است به طوری که مجموع مربع اختلاف از میانگین (یعنی واریانس) برای هر خوشه حداقل شود. تعریف دقیق ریاضی آن به شکل (۱۶) است [۱۷]:

$$\arg \min \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2 = \arg \min \sum_{i=1}^k |S_i| \text{Var}(S_i) \quad (16)$$

که در آن μ_i میانگین نقاط در S_i است. این معادل است با به حداقل رساندن دو به دو مربع انحراف از نقاط در همان خوشه [۱۷]:

$$\sum_{Cluster C_i} \sum_{Dimension d} \sum_{x, y \in C_i} (x_d - y_d)^2 \quad (17)$$

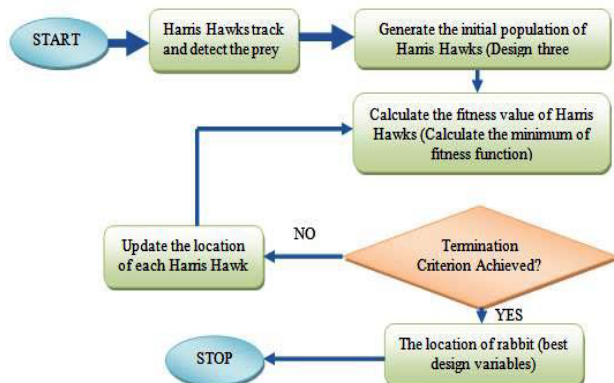


شکل (۲): فلوجارت الگوریتم GBO [۱۶].

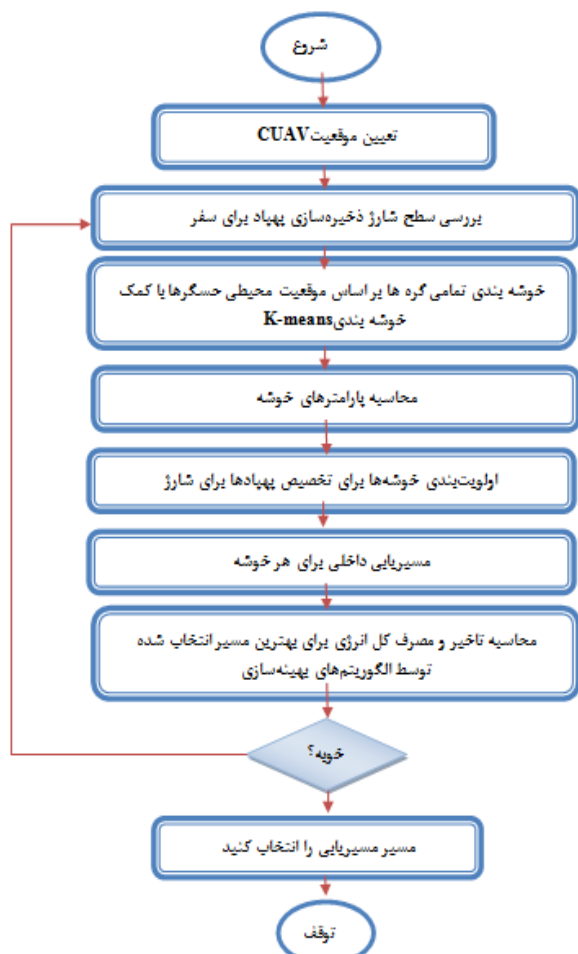


هر دوره مسیری انتخاب کند که پهباد اختصاصی بتواند کل مسیر را مسافرت کرده و به آشیانه برگردد. این شرط یک ضمانت‌کننده برای عمر بالای شبکه ایجاد می‌کند.

ج- خوشه‌بندی کل گره‌ها بر اساس موقعیت محیطی حسگرها با کمک خوشه‌بندی K-mean: در این قسمت بر اساس تعداد خوشه‌های معرفی شده که در این مقاله برابر تعداد پهبادها می‌باشد گره‌های در موقعیت نزدیک به هم، در یک گروه یا خوشه قرار می‌گیرد. معیار خوشه‌بندی برای شبکه محل قرارگیری گره‌ها و میزان شارژ باتری باقیمانده است. با این کار شبکه WRSN به بخش‌هایی تقسیم می‌شود که بر مبنای فاصله و انرژی، خوشه‌بندی می‌شود.



شکل (۳): فلوجارت بهینه‌ساز شاهین-هریس (HHO) [۱۸].



شکل (۴): فلوجارت طرح پیشنهادی

بنابراین پهبادها در مقایسه با سایر شارژرهای متحرک، توان مصرفی بین مسیر حرکت کمتری را شامل می‌شوند و به دلیل قابلیت حرکت در تمام موقعیت‌ها قادر خواهند بود در نزدیک‌ترین فاصله از حسگر برای انتقال بی‌سیم انرژی قرار گیرند. این عمل سرعت شارژ حسگرها را بالا می‌برد. زمان پرواز پهبادها به میزان قابل توجهی کمتر از سایر شارژرهای متحرک هستند. علت این مساله هم کوچک بودن منبع سوخت پهبادها در مقایسه با سایر شارژرهای متحرک است. بنابراین برای حل این مساله یک محدودیت زمان پرواز برای هر یک از پهبادها در تعریف تابع هدف گنجانده شده تا طبق برنامه شارژ اهداف گره‌های بحرانی انجام شود و سپس پهبادها به مرکز تعمیر و نگهداری برگردانده شود تا دوباره برای سوخت‌گیری آماده شود. در این کار برای طراحی و برنامه‌ریزی، موقعیت حرکت پهباد در نزدیکی گره‌های حسگر برای شارژ فرض می‌شود. این کار تلفات توان و تاخیر برای انتقال انرژی از پهباد به گره‌های حسگر (زمان شارژ) را به کمترین مقدار خود تبدیل می‌کند. نکته قابل توجه دیگر در مورد استفاده از پهباد، ثابت بودن سرعت پهباد در طول مسیر بین گره‌ها است که این کار هزینه محاسبات تاخیر مسیر و انرژی مصرفی را دقیق‌تر و ساده‌تر می‌کند. از طرفی هم استفاده از چند پهباد حوزه استحفاظی شبکه برای هر پهباد بهبود می‌یابد. با این تفاسیر با افزایش تعداد CUAVها مساله برنامه‌ریزی را دچار چالش خواهد کرد. برای حل این مساله در این مقاله، یک الگوریتم خوشه‌بندی گره بر اساس موقعیت استراتژیک آنها و میزان درصد شارژ باتری باقیمانده، فضای محیطی شبکه WRSN را به تعداد پهبادها بخش‌بندی می‌کنیم و هر بخش را به یک پهباد اختصاص می‌دهیم تا از تداخل برنامه شارژ حسگرها جلوگیری شود. در ادامه برای حل مساله برنامه‌ریزی یک شبکه با چند پهباد را به چند شبکه با یک پهباد اختصاصی تقسیم می‌شود. سپس، تابع چند هدفه برای هر بخش جهت مسیریابی پهباد اختصاص یافته به آن حل می‌شود. شکل (۴) نمودار استراتژی پیشنهادی برای حرکت پهبادها و شارژ حسگر را نمایش می‌دهد. در ادامه مراحل تشریح می‌شود:

۴-۱- مراحل استراتژی طرح پیشنهادی

الف- تعیین موقعیت پهباد: مکان تعمیر و نگهداری شبکه به‌عنوان محل تامین انرژی نامحدود CUAVها در این مطالعه در موقعیت مبدا مختصات در نظر گرفته می‌شود و موقعیت‌های بعدی در طول مسیر تعیین می‌شود. با تعریف محل ایستگاه شارژ پهباد در مبدا، در هر دوره مسافرت، پهباد به آشیانه برگشته و دوباره شارژ شود و برای دوره‌های بعدی آماده می‌شود. بقیه گره‌های حسگر در یک محیط تعریف شده به صورت تصادفی و استراتژیک پخش شده است.

ب- بررسی میزان شارژ ذخیره پهباد برای مسافرت: در این مورد چک کردن توان ذخیره شده داخل باتری در هر دوره اتفاق می‌افتد تا به یک رویکرد بهینه برای شارژ دوباره پهباد در ایستگاه شارژ برسیم. بر این اساس، در این تحقیق یک شرط نابرابری جهت تضمین وجود شارژ کافی برای پرواز و شارژ حسگرها در تابع هدف گنجانده می‌شود تا در



د- محاسبه پارامترهای خوشه: ۱- تعیین حسگرهای بحرانی با توان باتری باقیمانده کمتر از مقدار آستانه برای هر خوشه که ۶۰ درصد لحاظ شده است. ۲- میانگین انرژی باقیمانده گره‌ها در هر خوشه. ۳- فاصله متوسط گره‌های هر خوشه با مرکز ایستگاه شارژ. ه - اولویت‌بندی خوشه‌ها برای اختصاص پهپاد جهت شارژ: در این مرحله هر خوشه به یک پهپاد اختصاص داده می‌شود. در صورت یکسان بودن مشخصات پهپادها از لحاظ سرعت پرواز، اختصاص پهپاد به هر خوشه کاملاً تصادفی می‌باشد. اما برای موارد متفاوت بر اساس دو معیار، اختصاص پهپاد انجام می‌شود. بنابراین به خوشه‌های با میانگین انرژی باقیمانده گره‌ها کمتر و فاصله متوسط گره‌ها با مرکز ایستگاه شارژ بیشتر، پهپادهای سریعتر اختصاص داده می‌شود. در این مقاله از یک مدل پهپادی با سرعت متغیر استفاده شده است.

و - مسیریابی داخلی برای هر خوشه: برای هر خوشه به ترتیب پهپاد اختصاص داده شده مسیریابی حرکت پهپاد انجام می‌شود. برجسته‌سازی گره‌های حسگر بحرانی برای هر خوشه با آستانه‌گذاری قبلی، برای انرژی باقیمانده گره‌ها و حذف بقیه گره‌ها برای مسیریابی درون خوشه مورد نظر است. سپس تعریف تابع هدف بر اساس مدل پیشنهادی برای گره‌های حسگر انتخاب شده، و تعیین مینیمم تابع هدف با کمک الگوریتم‌های مورد مطالعه HHO و GBO با مقدار ۱۰۰۰ دوره تکرار برای هر الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ی- محاسبه تاخیر و انرژی مصرفی کل برای بهترین مسیر انتخاب شده توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی: در مسیریابی نهایی دو محدودیت انرژی و تاخیر بایستی بررسی شود. در مرحله نهایی بعد از تعیین مسیر حرکت پهپاد، نوبت به محاسبه تاخیر کل و میزان انرژی مصرفی کل می‌باشد. در صورتی که این میزان مقادیر با استانداردهای پهپاد مطابقت نداشت به مرحله دوم بازگشته تا به ایجاد تناسب اندازه شارژ پهپاد با میزان تقاضا پرداخته شود و سرعت پهپاد متناسب با تاخیر محاسبه شده تنظیم شود.

۴-۲- مدل‌سازی تابع هدف

در مدل ارائه شده در این کار ابتدا محاسبه تاخیر کل جابجایی و زمان شارژ حسگرهای بحرانی طول مسیریابی تعیین شده انجام می‌شود. روابط حاکم بر این محاسبات به شرح ذیل می‌باشد.

• محاسبه زمان کار باقیمانده MCV (پهپاد): ابتدا زمان کار باقیمانده MCV را مطابق زیر محاسبه می‌کنیم.

$$duration_{MCV} = \frac{(\sum_{i=1}^n d_{i-1,i} + d_{n,0})}{v} + \sum_{i=1}^n \tau_i \quad (19)$$

که در آن $d_{i-1,i}$ نشان‌دهنده فاصله بین دو گره، $d_{n,0}$ نشان‌دهنده موقعیت ایستگاه تعمیر و نگهداری، v سرعت حرکت MCV است که برای پهپادها در این کار متفاوت انتخاب شده است. و τ_i نشان‌دهنده مدت زمان MCV زمانی است که نزدیک گره i می‌ماند. هنگامی که زمان کار باقیمانده بیشتر از مدت زمان MCV باشد، گره اطمینان حاصل می‌کند که همیشه کار می‌کند [۱۹].

محاسبه حداقل زمان کار باقیمانده سنسور: حداقل زمان کار باقیمانده سنسور در WRSN با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$reT_{min} = \min \left(\frac{E_i(m)}{p_i(m)} \right) \quad 1 \leq i \leq n \quad (20)$$

که در آن $E_i(m)$ انرژی باقیمانده گره i ام در خوشه m th و $p_i(m)$ نشان‌دهنده توان مصرفی گره i ام است. این مقدار توان براساس یک مدل تحت عدم قطعیت از مصرف انرژی حسگرها در شبکه WRSN استفاده شده است. شرط برقراری استراتژی این است که زمان باقیمانده کار پهپاد از مینیمم مقدار زمان کار باقیمانده حسگرها کمتر باشد. با این محدودیت، شرط همگرایی و تصدیق مسیر تعیین شده در تابع هدف گنجانده شده است. مسیریابی پهپاد به ترتیب عبور از گره‌های تعیین شده توسط الگوریتم بهینه‌سازی با اعمال این محدودیت‌ها تعریف می‌شود. با اعمال این شرط، احتمال مرگ گره‌های حسگر به صفر خواهد رسید. این شرط به صورت زیر اعمال می‌شود.

$$Duration_{UAV}(i) < reT(i) \quad (21)$$

در این شرط، $Duration_{UAV}(i)$ زمان رسیدن پهپاد به گره حسگر i ام می‌باشد و $reT(i)$ زمان باقیمانده از عمر گره‌ها است. این شرط برای تک تک گره‌ها تست و بررسی می‌شود و در تابع هدف لحاظ می‌شود. بعد از اعمال شرط تاخیر در مرحله اول، نوبت به محاسبه انرژی مصرفی برای مسیر پیشنهادی می‌رسد. در این مرحله دو مساله شارژ و تلفات انرژی توسط پهپاد بر حسب طول مسیر محاسبه می‌شود.

• مدل شارژ انرژی: مدل شارژ انرژی به عنوان مدل فضای آزاد فریس در (۲۰) تعریف شده است [۲۰].

$$P_r(d) = \frac{G_{tx} G_{rx} \eta}{L_p} \left(\frac{\lambda}{4\pi(d+\delta)} \right)^2 P_{tx} \quad (22)$$

که در آن G_{tx} بهره آنتن منبع، G_{rx} بهره آنتن گیرنده، η نشان‌دهنده بازده یکسوکننده، L_p نشان‌دهنده اتلاف پلاریزاسیون، λ طول موج، d فاصله شارژ پهپاد با گره حسگر است که در این کار برابر ۱ متر تعریف شده است. δ با مقدار 0.2316 به عنوان پارامتر برای تنظیم معادله فضای آزاد فریس برای انتقال در فاصله کوتاه، و P_{tx} توان منبع MCV است. یک توان مصرفی برای باقیماندن پهپاد برای هر سنسور قابل محاسبه می‌باشد که این مقاله با $Prch$ معرفی می‌شود.

• مدل انرژی مصرفی در طول مسافت پهپاد: برای محاسبه انرژی مصرفی در طول مسافت طی شده توسط پهپاد، به دلیل سرعت یکسان حرکت پهپاد در طول مسیر، این مقدار انرژی هم در طول مسیر ثابت است. برای مدل‌سازی هم در این مورد از (۲۳) میزان انرژی مصرفی محاسبه می‌شود:

$$E_{tour} = \alpha \cdot L \quad (23)$$

که در اینجا L کل طول مسافت طی شده در طول مسافت یک دوره شارژ می‌باشد. α ضریب انرژی مصرفی MCV در طول مسیر خواهد بود که برای پهپاد در این مقاله برابر 0.8 فرض شده است. بر این اساس مقدار کل انرژی مصرفی در طول مسیر یک دوره مشخص به صورت زیر محاسبه می‌شود:



```

% define cost function for optimization;
function cost
= fitnessfunction(x0,y0,z,net,ROC,En,Pn,Vuav,Prch,ru)
W1 = 1;
W2 = 1000;
W3 = 1;
W4 = 1;
Z = round(z);
S = unique(Z);
B = numel(Z) - numel(S);
ROC = ROC/100;
x = net.x;
y = net.y;
% Inequality condition
if (B == 0 && isempty([find(Z < 1) find(Z
> numel(x))]))
for j = 1: numel(Z)
dist(j) = tourdistance(x0,y0,Z(1:j),net);
Tdelay(j) = sum(((1 - ROC(Z(1:j))))
* En(Z(1:j))./Prch(Z(1:j)))
+ dist(j)/Vuav;
end
Tdz = (ROC(Z).* En(Z))./Pn(Z);
A = find(Tdelay > Tdz);
else
A = 1;
end
% Main cost;
if isempty(A)
dist = tourdistance(x0,y0,Z,net);
Priority = 1;
for i = 1: numel(Z)
Priority = Priority + ROC(Z(i))^i;
end
Priority = 1/Priority;
Euav = ru * dist + sum(((1 - ROC(Z)).* En(Z));
Tdeltot = sum(((1 - ROC(Z)).* En(Z))./Prch(Z)
+ dist)/Vuav;
cost = W1 * dist + W2 * Priority + W3 * Euav
+ W4 * Tdeltot;
else
cost = (numel(A) + 1) * 1e4;
end
end

% calculate distance;
function dist = tourdistance(x0,y0,Z,net)
x = net.x;
y = net.y;
if isempty([find(Z < 1) find(Z > numel(x))])
dist = sqrt(x0^2 + y0^2) + sqrt((x(Z(1)) - x0)^2
+ (y(Z(1)) - y0)^2);
for i = 2: numel(Z)
dist = dist + sqrt((x(Z(i)) - x(Z(i - 1)))^2
+ (y(Z(i)) - y(Z(i - 1)))^2);
end
else
dist = 1e5;
end
end

```

در این تابع چند هدف برای رسیدن به یک مینیمم جهانی از یک مدل محدب در دستورات شرطی استفاده کرده‌ایم. این عملیات شرایط محدودیت‌های موجود تعریف شده در تابع چند هدفه مسیریابی و برنامه‌ریزی را پشتیبانی می‌کند. در برنامه شارژ حسگرها بعد از اتصال پهپاد برای شارژ تا شارژ کامل و ۱۰۰ درصد ادامه خواهد یافت.

$$E_{tot} = E_{tour} + \sum_{i=1}^N P_{UAV} \cdot T_i + E_r \quad (24)$$

که E_r انرژی مورد نیاز برای شارژ کامل گره حسگر و T_i مقدار ماندن شارژر در کنار گره حسگر i می‌باشد و از (۲۵) محاسبه می‌شود.

$$T_i = E_r(i) / P_r(i) \quad (25)$$

برای عملی شدن استراتژی پیشنهادی بایستی در روش پیشنهادی انرژی کل مصرفی (E_{tot}) از مقدار انرژی شارژ شده دوره‌ای پهپاد (E_{chUAV}) کمتر باشد، تا UAV بتواند به طور کامل هم‌گروه‌های بحرانی را شارژ کند و هم به ایستگاه تعمیر و نگهداری برگردد. بنابراین می‌بایست شارژ CUAV تا سقف تعیین شده انجام شود.

• مدل اولویت‌بندی گره‌های بحرانی حسگرها: یک روش مهم در این کار اولویت‌دهی به گره‌های حسگر مسیر برای رسیدگی زودتر برای شارژ تحت شرایط بحرانی است. بنابراین طبق این مدل، حسگرهای با درصد شارژ بالای آستانه (۶۰ درصد) از انتخاب مسیریابی حذف می‌شوند و حسگرهای با درصد شارژ پایین به ترتیب در اولویت انتخاب قرار می‌گیرند. رابطه زیر معرف تابع اولویت می‌باشد.

$$Priority = 1 / (\sum ROC(Z(i))^i) \quad (26)$$

که ROC_i معرف درصد شارژ باقیمانده گره $Z(i)$ می‌باشد که گره انتخابی برای مسیر حرکت پهپاد به ترتیب اولویت نام می‌باشد.

۳-۴- مسیریابی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی (HHO و GBO)

بعد از انتخاب و اولویت‌بندی خوشه‌ها در هر خوشه گره‌های حساس و بحرانی که دارای انرژی باقیمانده کمتر از ۶۰ درصد هستند، انتخاب و برای شارژ توسط پهپاد برجسته و فعال می‌شوند. در این مرحله برای هر خوشه به ترتیب اولویت فازی مسیر پهپاد با کمک یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر گرادینت برای تابع هدف پیشنهاد شده زیر تعیین می‌شود. در هر خوشه، موقعیت اولیه پهپاد اختصاص یافته را آشیانه انتخاب کرده که در مرکز تعمیر و نگهداری در مبدا مختصات با موقعیت 0 و 0 معرفی می‌شود. مبنای تعریف تابع هدف در هر خوشه طول مسیر گره‌های انتخاب شده و وزن‌دهی هر گره حسگر بحرانی بر اساس تابع تعریف شده مدل ریاضی زیر می‌باشد.

$$cost = W_1 \times dist + W_2 \times Priority + W_{13} \times E_{uav} + W_1 \times T_{deltot} \quad (27)$$

که $dist$ طول مسیر مسافرت پهپاد در خوشه است. $Priority$ معرف اولویت تعریف شده تحت گره‌های مسیر است. E_{uav} انرژی مصرف شده کل پهپاد در یک تور از دوره اجرا برای هر خوشه و T_{deltot} هم تاخیر کل مسیر طی شده و شارژ گره‌های مسیر است. مقادیر وزن-های W_i به نحوی تعیین می‌شود که پارامترهای چند هدفه تابع را متعادل کند. در این جا Z شماره گره‌های انتخابی تحت الگوریتم در خوشه می‌باشد و به عنوان متغیرهای حل مساله معرفی می‌شود و ROC میزان نسبی توان باقیمانده گره‌های انتخابی Z می‌باشد که در بازه 0 و 1 تعریف شده است. در ادامه کد متلب تابع آورده شده است:



۵- نتایج شبیه‌سازی

برای بررسی تکنیک پیشنهادی، از یک مدل‌سازی واقعی برای مساله شارژ گره‌های حسگر در فضای مورد مطالعه با یک نسبت تقسیم بر ۱۰۰ برای مسافت طی شده و سرعت پرواز پهپادها بهره‌برده شد. همچنین برای تخمین زمان مسافت پهپادها از یک مدل فضای آزاد فریس در (۲۸) تعریف شده است [۲۰].

$$P_r(d) = \frac{G_{tx} G_{rx} \eta}{L_p} \left(\frac{\lambda}{4\pi(d+6)} \right)^2 P_{tx} \quad (28)$$

که در آن G_{tx} بهره آنتن منبع، G_{rx} بهره آنتن گیرنده، η نشان دهنده بازده یکسو کننده، L_p نشان دهنده از دست دادن پلاریزاسیون، λ طول موج، d فاصله شارژ پهپاد با گره حسگر است که در این کار برابر ۱ متر تعریف شده است. $\bar{\sigma}$ مقدار ۱.۲۳۱۶ به عنوان پارامتر برای تنظیم معادله فضای آزاد فریس برای انتقال در فاصله کوتاه، و P_{tx} قدرت منبع MCV است. توان مصرفی برای باقی ماندن پهپاد برای هر سنسور قابل محاسبه می‌باشد که این مقاله با Puav معرفی می‌شود. در این بخش، آزمایش‌های شبیه‌سازی برای ارزیابی عملکرد استراتژی پیشنهادی برای برنامه‌ریزی WRSN با چند پهپاد انجام می‌دهیم.

۵-۱- مدل مورد مطالعه و شبیه‌سازی

همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده، به طور تصادفی {۱۰۰} گره در یک میدان مربع ۴۰۰ متری مستقر می‌کنیم. مختصات ایستگاه تعمیر و نگهداری در (۰،۰) است و شارژ پهپاد در آن انجام می‌شود. اطلاعات گره‌ها، پس از گرفتن توسط گره‌های جداگانه، به مرکز ایستگاه رله می‌شود. گره حسگر زمانی که انرژی باقیمانده زیر آستانه باشد، درخواست شارژ را به ایستگاه ارسال می‌کند. در شبیه‌ساز رویداد محور، داده‌های سنجش شبیه‌سازی می‌شوند، زیرا رویدادها در زمان‌های تصادفی و در مکان‌های تصادفی رخ می‌دهند. هرگاه رویدادی در محدوده گره حسگر رخ دهد، گره رویداد را گرفته و از طریق مسیر ساخته شده به BS ارسال می‌کند. فرآیند شارژ موبایل با استفاده از کد m-file در نرم‌افزار MATLAB2017B شبیه‌سازی شده است.

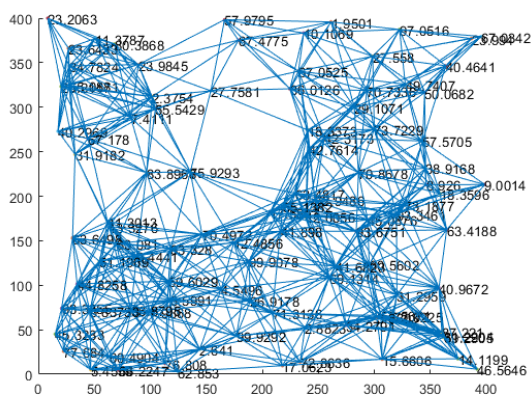
۶- نمایش نتایج

در این بخش، نتایج برای یک نمونه سیستم شکل (۵) برای تعداد ۱۰۰ گره حسگر قابل شارژ نمایش داده شده است. با اعمال روش استراتژی پیشنهادی ترکیبی منطق فازی با الگوریتم GBO و HHO، قادر خواهیم بود به نتایج مسیریابی برای حسگرهای بحرانی با درصد شارژ کمتر از ۶۰ درصد، دست یابیم. مبنای درخواست انرژی بی‌سیم از پهپاد را با آستانه‌گذاری بر روی انرژی باقیمانده می‌توان معرفی کرد. با تغییر این مقدار آستانه می‌توان تعداد گره‌های خوشه‌های مورد تقاضا برای شارژ را تغییر داد. با اعمال دو مساله عدم قطعیت در توان مصرفی حسگرها و نابرابری اندازه باتری شارژ حسگرها، به یک مدل واقعی در مساله برنامه‌ریزی شارژ حسگرها روبرو هستیم. شکل (۶) یک نمونه پاسخ سیستم را برای شبکه مورد مطالعه نمایش می‌دهد. فاصله ارتباط

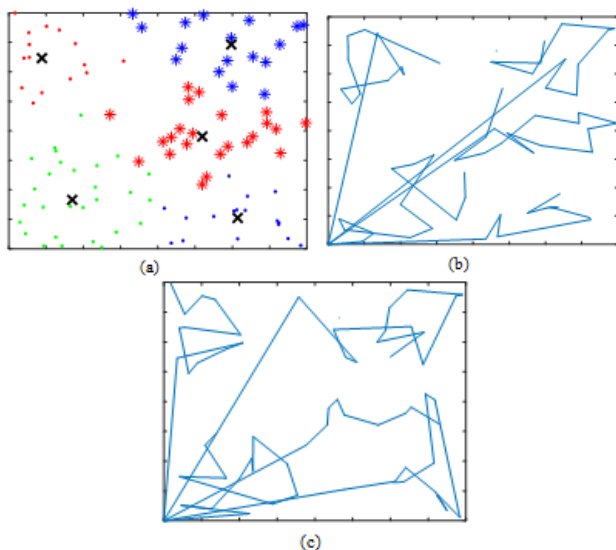
گره‌ها به یکدیگر را برابر ۱۰۰ تعریف می‌کنیم که بر اساس این فاصله حسگرهای با فاصله کمتر از هم قابلیت لینک را به هم خواهند داشت. در این تصویر مراحل اعمال تکنیک‌های شارژ پیشنهادی نمایش داده شده است. شکل (۶-الف) نتایج بخش‌بندی گره‌های حسگر بر اساس موقعیت با کمک الگوریتم k-means را نمایش داده است و سپس پارامترهای هر خوشه برای اختصاص پهپادها با سرعت‌های مختلف محاسبه و اعمال می‌شود. شکل (۶-ب) نیز نتایج مسیریابی با توجه تابع هدف تعریف شده در این مقاله با کمک الگوریتم GBO نمایش داده است. انتخاب مسیرها بر اساس حساسیت گره‌ها برای رسیدن شارژ انجام شده است. مطابق شکل (۶-الف) بر اساس سرعت پهپادها و موقعیت گره‌های بحرانی و متقاضی اضطراری انرژی شارژ به نواحی مختلف تقسیم می‌شود و هر پهپاد به هر خوشه از گره‌ها تخصیص داده شده است. سپس هر پهپاد با کمک تکنیک الگوریتم HHO و GBO مسیریابی در هر خوشه توسط هر پهپاد از مرکز مختصات و تعمیر و نگهداری انجام می‌دهد و مطابق شکل (۶-ب و ج) بهترین مسیرها معرفی شده است. همچنین برای نمونه‌های دیگر شبکه با ۵۰ و ۳۰ گره هم در شکل‌های (۷-۸) نمایش داده شده است. در آخر مقایسه‌ای هم برای موارد مختلف انجام شده صورت گرفته است. در نمودار میله‌ای، نتایج مقایسه برای شبکه‌های با تعداد گره‌های مختلف در شکل (۹) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با کاهش تعداد حسگرهای شبکه میزان انرژی مصرفی و فاصله و زمان مسافت به خوبی خواهد یافت. بر اساس نمودار میله‌ای نمایش داده شده در شکل (۹) الگوریتم شاهین‌هریس در مقایسه با الگوریتم مبتنی بر گرادیان توانسته بهبودهای خوبی در پارامترهای مسافت کل طی شده و تاخیر کل و انرژی کل داشته است. در جدول (۲) مقایسه سه پارامتر مهم انرژی، زمان و طول مسافت برای دو الگوریتم HHO و GBO با الگوریتم‌های معمول شامل الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات با هم مقایسه و انجام شده که بر اساس نتایج، الگوریتم HHO جواب‌های بهتری حاصل کرده است. نتایج مورد بحث در این جدول برای شبکه با تعداد ۸۰ گره بررسی شده است. با توجه به مقایسه نتایج می‌توان گفت که الگوریتم‌های پیشنهادی HHO و GBO در مقایسه با الگوریتم‌های GA,PSO به نتایج قابل قبول در مقادیر مسافت کل طی شده در تور، انرژی کل مصرفی و تاخیر کل مسافت ارائه کرده‌اند. علت بهبود نتایج می‌تواند جدید بودن الگوریتم‌های پیشنهادی و در عین حال سرعت بالای جستجوی روش‌های پیشنهادی می‌باشد. همچنین در الگوریتم پیشنهاد شده با خوشه‌بندی گره‌ها و تقسیم بندی نواحی تحت نظارت گره‌ها می‌توان محدوده فضای جستجو را کاهش داد که در مقایسه با عملکرد سایر الگوریتم‌ها به تنهایی از پیچیدگی کمتر برخوردار است.

نکته مهم برای تحلیل نتایج در این مقاله عملکرد تکنیک پیشنهادی برای تغییرات تعداد خوشه‌ها و سرعت پهپاد نمایش داده شده است. بنابراین، در شکل (۱۰) نمودار تغییرات تعداد پهپادها برای سیستم با ۱۰۰ گره حسگر نمایش داده است.



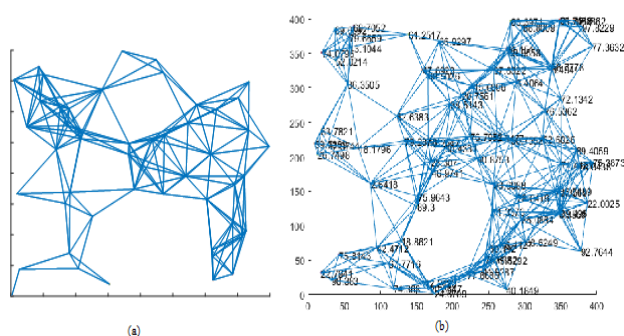


شکل (۵): نمایش شبکه حسگر قابل شارژ بی سیم با ۱۰۰ گره



شکل (۶): نمایش نتایج مسیریابی و خوشه بندی برای شبکه با ۱۰۰

گره. (a) - نتایج خوشه بندی (b) - مسیر یابی ۵ پهپاد شارژ با الگوریتم HHO. (c) - مسیر یابی ۵ پهپاد شارژ با الگوریتم GBO.



شکل (۷): نمایش شبکه حسگر قابل شارژ بی سیم با ۵۰ - (a) گره.

(b) - ۸۰ گره.

مطابق با شکل (۱۰) برای خوشه بندی با تعداد چهار خوشه توانسته ایم بهترین پاسخ برای عملکرد شارژ شبکه حسگر را حاصل کنیم که در میزان مصرف انرژی، تاخیر و طول مسیر مسافرت پهپاد بهترین پاسخ ها به دست آمده است. عملکرد الگوریتم های HHO و GBO برای ۱۰۰۰ دوره تکرار برای ردیابی مسیر برای شبکه با ۸۰ گره بررسی و برای هر خوشه در شکل (۱۱) نمایش داده شده است.

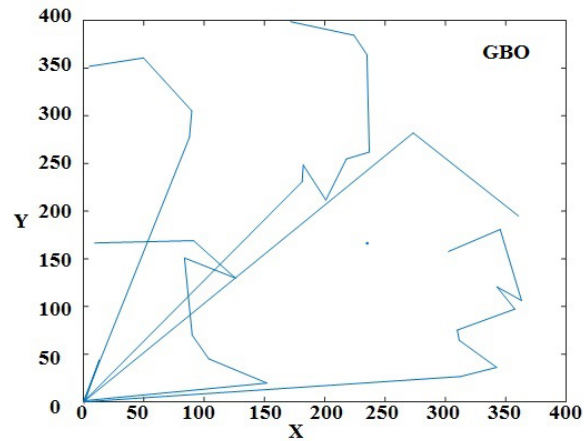
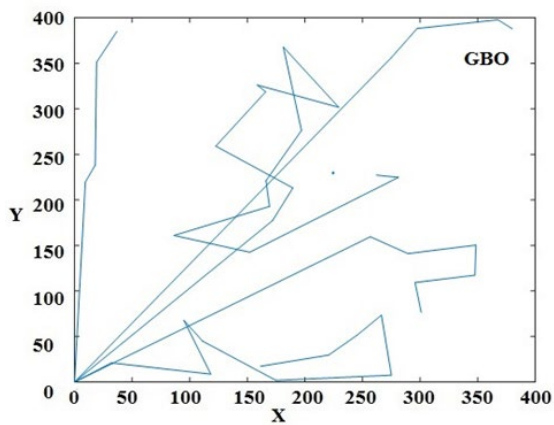
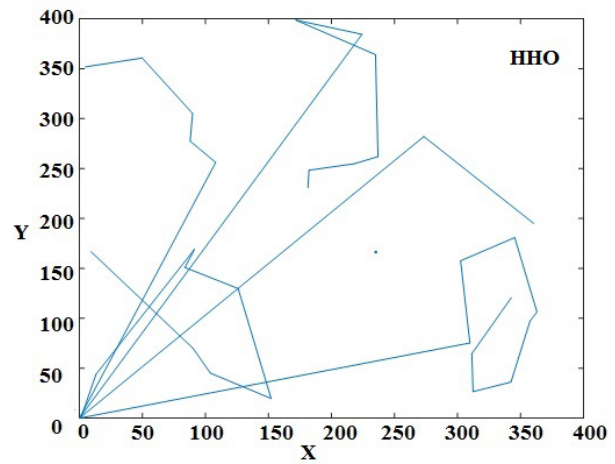
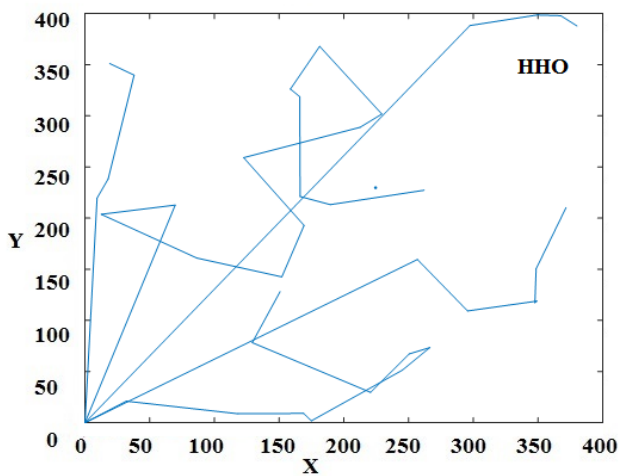
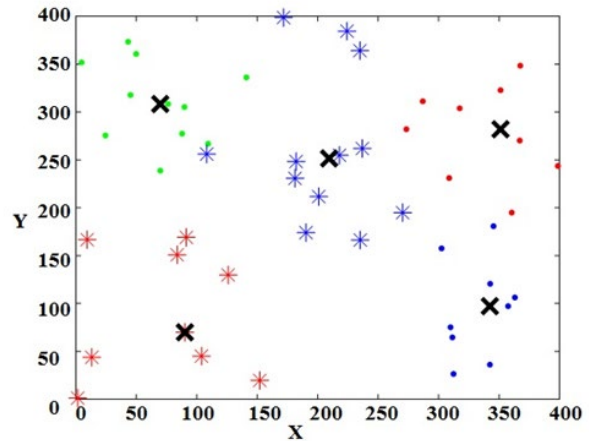
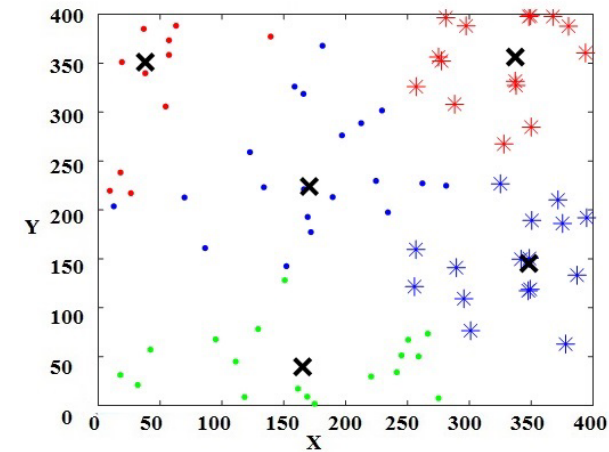
۷- نتیجه گیری

در این مطالعه، یک الگوریتم شارژ بی سیم بر اساس تقاضا با کمک چند پهپاد مبتنی بر الگوریتم های بهینه سازی مبتنی بر گرادینان و شاهین-هریس پیشنهاد شده است. با استفاده از استراتژی ترکیبی خوشه بندی k-means و الگوریتم مسیریابی GBO, HHO می تواند به پهپاد در دستیابی به برنامه ریزی مسیر مستقل کمک کند. علاوه بر این، به طور کامل عملکرد پهپادها را با انرژی محدود و پاسخ به درخواست های شارژ را تحت عدم قطعیت های موجود در توان مصرفی هر گره و نابرابر باتری شارژ گره ها در نظر می گیرد. در این کار تلاش شده از مدل واقعی برای شبیه سازی شبکه WRSN استفاده شود و استراتژی های مختلف با هم مقایسه شوند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که HHO به خوبی توانسته است پارامترهای محاسبه شده شامل کل تاخیر شارژ و انرژی کل و مسافت طی شده را بهبود دهد. این استراتژی می تواند به طور موثر طول عمر شبکه و همچنین استفاده از شارژ چند پهپادها را تحت انرژی محدود پهپاد بهبود دهد. در آینده قصد داریم با استفاده از الگوریتم های ترکیبی متعدد و با توجه به ارائه یک مدل فضایی سه بعدی برای پهپادها، این کار را گسترش دهیم.

جدول (۱): پارامترهای شبیه سازی

Parameters	Values
Node number	50,80,100
Field size (m ²)	400*400
Location of CS	0,0
Initial energy (J)	50+rand(N)*10
Battery capacity of MCV	1000 kj
Charging loss rate(ρ)	0.2
Energy threshold for sending a charging request	0.5E _{max} - 60%
UAV speed (m/s)	1-2-3-4-5
UAV charging efficiency (η)	0.5
UAV moving consumption (J/m)	0.8





(b)

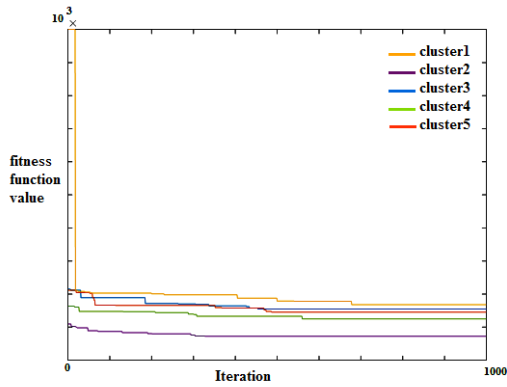
(a)

شکل (۸): نمایش نتایج مسیریابی و خوشه‌بندی برای شبکه با ۵۰-گره (a) - ۸۰-گره (b).

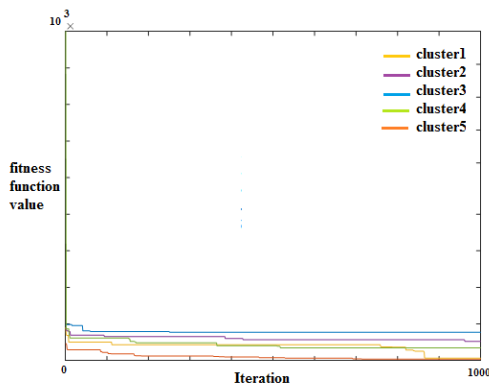
جدول (۲): مقایسه الگوریتم‌های مختلف برای شبکه با ۸۰-گره حسگر

پارامترها	HHO	GBO	GA	PSO
مسافت کل طی شده در تور	۳۰۰۸/۳۸۹	۳۱۹۳/۶	۳۴۵۲/۴	۳۸۷۵/۷۶
انرژی کل مصرفی	۳۲۰۷/۹۲۳	۳۳۰۵/۷۴۲	۳۸۴۵/۳۴	۴۰۲۹/۹۸
تاخیر کل مسافرت	۱۴۷۷/۳۷۲	۱۵۶۹/۶۳۲	۲۱۰۳/۱۲	۱۷۸۶/۳۲۴





الف

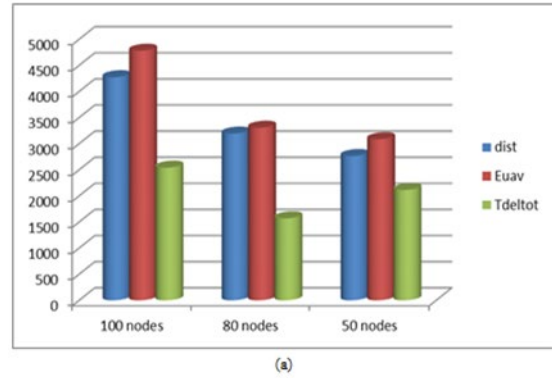


ب

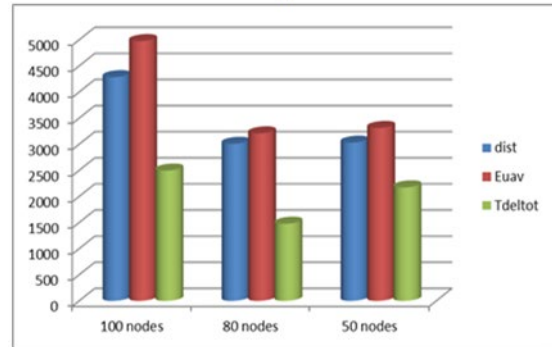
شکل (۱۱): نمایش عملکرد الگوریتم الف - GBO و ب - HHO برای هر یک از خوشه‌ها برای شبکه با ۱۰۰ حسگر.

مراجع

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications magazine*, vol. 40, pp. 102-114, 2002.
- [2] G. V. Merrett, N. R. Harris, B. M. Al-Hashimi, and N. M. White, "Energy managed reporting for wireless sensor networks," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 142, pp. 379-389, 2008.
- [3] S. Guo, C. Wang, and Y. Yang, "Joint mobile data gathering and energy provisioning in wireless rechargeable sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 13, pp. 2836-2852, 2014.
- [4] M. Angurala, M. Bala, and S. S. Bamber, "Performance analysis of modified AODV routing protocol with lifetime extension of wireless sensor networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 10606-10613, 2020.
- [5] E. F. Orumwense and K. Abo-Al-Ez, "A Charging Technique for Sensor Nodes in Wireless Rechargeable Sensor Networks for Cyber-physical Systems," in *2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*, 2021, pp. 1-6.
- [6] Y. Hong, C. Luo, D. Li, Z. Chen, X. Wang, and X. Li, "Energy efficiency optimization for multiple chargers in Wireless Rechargeable Sensor Networks," *Theoretical Computer Science*, 2022.
- [7] S. Liang, Z. Fang, G. Sun, C. Lin, J. Li, S. Li, *et al.*, "Charging UAV deployment for improving charging performance of wireless rechargeable sensor networks via joint optimization approach," *Computer Networks*, vol. 201, p. 108573, 2021.



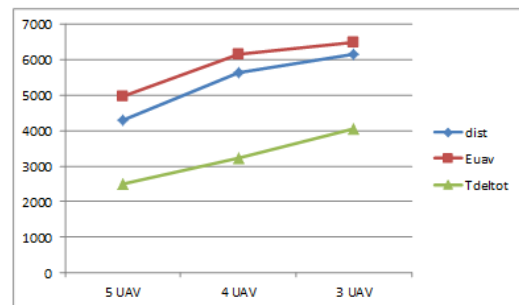
(a)



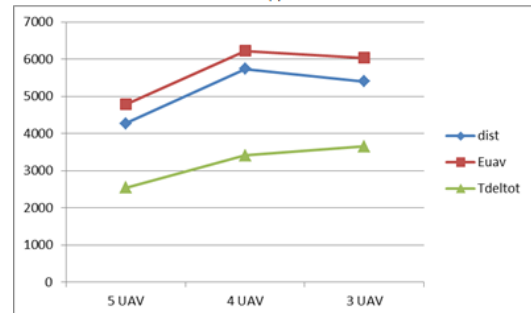
(b)

شکل (۹): نمودار میله‌ای مقایسه نتایج برای انرژی مصرفی و فاصله و زمان مسافرت با تغییر تعداد گره‌های حسگر (a) - HHO - (b).

GBO



(a)



(b)

شکل (۱۰): نمودار تغییرات تعداد پهپادهای شارژر بر نتایج (a) - HHO - (b).

GBO - HHO



- [8] S. Priyadarshani, A. Tomar, and P. K. Jana, "An efficient partial charging scheme using multiple mobile chargers in wireless rechargeable sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 113, p. 102407, 2021.
- [9] Y. Dong, G. Bao, Y. Liu, M. Wei, Y. Huo, Z. Lou, *et al.*, "Instant on-demand charging strategy with multiple chargers in wireless rechargeable sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 136, p. 102964, 2022.
- [10] Q. Qian, J. O'Keefe, Y. Wang, and D. Boyle, "Practical Mission Planning for Optimized UAV-Sensor Wireless Recharging," *arXiv preprint arXiv:2203.04595*, 2022.
- [11] Y. Dong, Y. Wang, S. Li, M. Cui, and H. Wu, "Demand-based charging strategy for wireless rechargeable sensor networks," *ETRI Journal*, vol. 41, pp. 326-336, 2019.
- [12] Y. Jia, W. Jiahao, J. Zeyu, and P. Ruizhao, "Multiple Mobile Charger Charging Strategy Based on Dual Partitioning Model for Wireless Rechargeable Sensor Networks," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 93731-93744, 2022.
- [13] M. Tian, W. Jiao, and J. Liu, "The charging strategy of mobile charging vehicles in wireless rechargeable sensor networks with heterogeneous sensors," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 73096-73110, 2020.
- [14] R. Kumar and J. C. Mukherjee, "On-demand vehicle-assisted charging in wireless rechargeable sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 112, p. 102389, 2021.
- [15] J. Li, G. Sun, A. Wang, M. Lei, S. Liang, H. Kang, *et al.*, "A many-objective optimization charging scheme for wireless rechargeable sensor networks via mobile charging vehicles," *Computer Networks*, vol. 215, p. 109196, 2022.
- [16] Y. Jiang, Q. Luo, Y. Wei, L. Abualigah, and Y. Zhou, "An efficient binary Gradient-based optimizer for feature selection," *Math. Biosci. Eng.*, vol. 18, pp. 3813-3854, 2021.
- [17] H.-P. Kriegel, E. Schubert, and A. Zimek, "The (black) art of runtime evaluation: Are we comparing algorithms or implementations?," *Knowledge and Information Systems*, vol. 52, pp. 341-378, 2017.
- [18] A. A. Heidari, S. Mirjalili, H. Faris, I. Aljarah, M. Mafarja, and H. Chen, "Harris hawks optimization: Algorithm and applications," *Future generation computer systems*, vol. 97, pp. 849-872, 2019.
- [19] L. He, L. Kong, Y. Gu, J. Pan, and T. Zhu, "Evaluating the on-demand mobile charging in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 14, pp. 1861-1875, 2014.
- [20] T. Zou, S. Lin, Q. Feng, and Y. Chen, "Energy-efficient control with harvesting predictions for solar-powered wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 16, p. 53, 2016.





Islamic Azad University, Shiraz Branch

نشریه تحلیل مدارها، داده‌ها و سامانه‌ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis

sanad.iau.ir/journal/jcdsa



یک روش مبتنی بر شبکه عصبی عمیق بهینه شده با الگوریتم هافمن و الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای فشرده‌سازی و بازسازی تصویر پزشکی

محمد حسین خلیفه^۱، مهدی تقی‌زاده^{۲*}، محمد مهدی قنبریان^۳، جاسم جمالی^۴

۱- گروه مهندسی برق، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران
Mhosein.khalifeh@gmail.com

۲- گروه مهندسی برق، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران
Mehdi.taghizadeh@iau.ac.ir

۳- گروه مهندسی برق، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران
mm.ghanbarian@iau.ac.ir

۴- گروه مهندسی برق، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران
jasem.jamali@iau.ac.ir

چکیده: این تحقیق از دو رویکرد مختلف برای فشرده‌سازی عکس‌های پزشکی برای اهداف بلندمدت استفاده می‌کند. در روش اول، تصاویر با استفاده از رمز هافمن فشرده شده و سپس با استفاده از مدل‌سازی سلسله مراتبی بر اساس طبقه‌بندی طراحی شده توسط شبکه عصبی ساده‌سازی می‌شوند. در روش دوم از یک استراتژی پیش‌بینی مبتنی بر آموزش شبکه عصبی عمیق استفاده شده است. این روش از یک شبکه عصبی آموزش‌دیده برای استنتاج مکان‌های پیکسل‌های منفرد استفاده می‌کند و از این رو، مقدار داده‌های مورد نیاز برای توصیف یک تصویر را کاهش می‌دهد. رمزگذاری فشرده‌سازی هافمن روی داده‌های باقی‌مانده استفاده می‌شود. یک روش فیلتر فضایی پیشرفته برای رمزگشایی داده‌های تصویر استفاده می‌شود و سپس الگوریتم‌های فراابتکاری بهینه‌سازی اسب وحشی و بهینه‌سازی گرگ خاکستری برای تولید یک تصویر بازسازی‌شده استفاده می‌شوند. رویکردهای پیشنهادی امکان ساده‌سازی تصویر را فراهم می‌کنند که منجر به رمزگشایی سریع‌تر شده است. مدولاسیون شاخص تشابه ساختاری، زمان و نسبت سیگنال به نویز پیک به ترتیب به طور متوسط ۲، ۳۰/۱ و ۱۵/۱۵ درصد نسبت به سایر روش‌ها بهبود یافته است. الگوریتم‌های پیشنهادی می‌توانند عکس‌های پزشکی را با کیفیت بسیار بالایی در مقایسه با روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق فعلی فشرده کنند.

واژه‌های کلیدی: فشرده‌سازی تصویر، بازسازی تصویر، شبکه عصبی عمیق، رمزنگاری هافمن، الگوریتم‌های فرا ابتکاری گرگ خاکستری

A method based on deep neural network optimized with Huffman algorithm and meta-heuristic algorithms for medical image compression and reconstruction

Mohammad Hossein Khalifeh¹, Mehdi Taghizadeh^{2*}, Mohammad Mehdi Ghanbarian³, Jasem Jamali⁴

¹ Department of Electrical Engineering, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran
Mhosein.khalifeh@gmail.com

² Department of Electrical Engineering, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran
Mehdi.taghizadeh@iau.ac.ir

³ Department of Electrical Engineering, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran
mm.ghanbarian@iau.ac.ir

⁴ Department of Electrical Engineering, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran
jasem.jamali@iau.ac.ir



Abstract:

This research makes use of two different approaches to compress medical images for long-term purposes. In the first method, images are compressed using the Huffman cipher and then simplified using a hierarchical modeling based on a neural network-designed categorization. A prediction strategy based on deep neural network training is employed in the second method. This technique uses a trained neural network to infer the locations of individual pixels, hence reducing the amount of data required to describe a picture. Huffman compression encryption is used on the leftover data. An enhanced spatial filtering technique is used to decode the picture data, and the wild horse optimization and gray wolf optimization meta-heuristic algorithms are then used to produce a rebuilt image. Without compromising compression efficiency, this allows for a more realistic application of the suggested solutions in non-deterministic contexts. The suggested approaches allow for picture simplification, which has resulted in faster decoding. Structural similarity index modulation, time and peak signal-to-noise ratio have been improved by an average of 2, 30.1 and 15.15%, respectively. The suggested algorithms were able to compress medical photos with very high quality level, as compared to the current deep learning-based methods.

Keywords: Medical image compression, Image reconstruction, Deep Neural Network, Huffman encryption, Gray Wolf Optimization Algorithm.

DOI: 00.00000/0000

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۹/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۸/۲۹

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵

۱- مقدمه

فشرده‌سازی بدون تلفات آن بسیار حیاتی است، که مستقیماً نیاز به فضای ذخیره‌سازی محلی و پهنای باند ارتباطی سیستم‌های پزشکی از راه دور را تعیین می‌کند تا به تشخیص و درمان بیماران کمک کند. دو خاصیت، بدون تلفات و شباهت تصاویر، مربوط به تصاویر پزشکی وجود دارد. نحوه استفاده از این دو ویژگی برای کاهش اطلاعات مورد نیاز برای نمایش یک تصویر، نکته کلیدی فشرده‌سازی است. عمده‌تاً دو نگرانی مهم در استفاده از تصویربرداری پزشکی وجود دارد. اولین نگرانی این است که تصاویر در هنگام انتقال از طریق رسانه‌هایی مانند IOMT فضای زیادی را از دستگاه‌ها اشغال می‌کنند و برای کارهای زمان واقعی دچار مشکل می‌شوند، بنابراین فشرده‌سازی آنها ضروری است. از سویی دیگر، خطر از دست دادن اطلاعات مهم وجود دارد و در عرصه پزشکی، از دست دادن این نوع اطلاعات توسط قانون محدود شده است [۶]. موضوع دوم نحوه حذف نویز در تصاویر است، موضوعی که الهام‌بخش تحقیقات بسیاری بوده است [۸-۱۰] و این امر ممکن است در مساله فشرده‌سازی اتفاق بیافتد و نیاز به بازسازی تصویر از اهمیت بالایی برخوردار است.

در حال حاضر، شبکه عصبی بازگشتی^۲ (RNN) و سایر روش‌ها عملکرد بسیار خوبی در زمینه ترجمه ماشینی نشان داده‌اند. RNNهای عمیق در عمل ثابت شده‌اند که در وظایف پردازش زبان طبیعی، مانند بیان کلمه‌برداری، بیانیه مشروعیت، و برجسب‌گذاری بخشی از گفتار کاملاً موفق هستند. بنابراین، برای استفاده از فشرده‌سازی بدون تلفات فراطیفی، روش جدیدی برای فشرده‌سازی تصویر فراطیفی بر اساس شبکه‌های عصبی چرخه‌ای عمیق در این مقاله پیشنهاد شده است. اخیراً با توسعه سریع نظریه یادگیری عمیق، به ویژه پس از کاربردهای موفق شبکه‌های عصبی عمیق (DNN) در بینایی کامپیوتر، یادگیری عمیق در بسیاری از زمینه‌ها از جمله فشرده‌سازی تصویر به کار گرفته شده است. برخی از روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق از کدک‌های تصویر سنتی مانند JPEG،

استفاده از تصاویر برای انسان در تمام جنبه‌های زندگی مفید بوده است. به عنوان مثال، نظارت بر تصاویر پزشکی بسیار مهم است زیرا به متخصصان مراقبت‌های بهداشتی اطلاعاتی را برای کمک به بیماران با هدف بهبود کیفیت زندگی ارائه می‌دهد. امروزه با توجه به حجم زیاد تصاویر پزشکی و ضرورت بایگانی و انتقال آنها در شبکه‌های اینترنت اشیا پزشکی^۱ (IOMT)، فشرده‌سازی این تصاویر ضروری به نظر می‌رسد. بسیاری از محققان یادگیری ماشین و یادگیری عمیق تصمیمات خود را بر اساس پایگاه‌های اطلاعاتی تصویری و انواع دیگر پایگاه‌های داده قرار می‌دهند [۱-۶].

فشرده‌سازی تصاویر پزشکی در برخی از کاربردها مانند طرح ذخیره‌سازی اطلاعات بیمار و سیستم‌های انتقال در IOMT استفاده می‌شود. روش‌های فشرده‌سازی بدون اتلاف، تصاویر را بدون از بین بردن هیچ اطلاعاتی فشرده می‌کنند اما نسبت فشرده‌سازی پایین دارند و روش‌های فشرده‌سازی همراه با اتلاف با نسبت فشرده‌سازی بالا اما با اتلاف اندک داده‌ها، می‌توانند فشرده شوند. استفاده از روش‌های بدون اتلاف در تصاویر پزشکی، مزیت کافی را در انتقال و ذخیره‌سازی ارائه نمی‌دهند و روش‌های پراتلاف، داده‌های حیاتی مورد نیاز برای تشخیص را از دست می‌دهند. بنابراین ارائه یک رویکرد همه جانبه برای افزایش نسبت فشرده‌سازی و کاهش اتلاف اطلاعات به منظور افزایش شباهت تصاویر از چالش‌های مهم در حیطه فشرده‌سازی تصاویر می‌باشد. در تشخیص بیماری، تصویر پزشکی نقش مهمی ایفا می‌کند. تصاویر پزشکی شامل اطلاعاتی درباره بدن انسان هستند که برای اهداف متفاوت مانند طرح‌های جراحی و تشخیص بیماری استفاده می‌شوند. تصاویر پزشکی دیجیتال مانند اشعه X، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI)، سونوگرافی، توموگرافی کامپیوتری (CT) به طور گسترده در تشخیص بیماری استفاده می‌شوند [۷].

² Recurrent Neural Network (RNN)



¹ Internet of Medical Things

۲- کارهای مروری

در این بخش، کارهای مربوط به فشرده‌سازی تصویر پزشکی شرح داده می‌شود. برای اهداف این مقاله، کاربرد فشرده‌سازی تصاویر پزشکی با اتلاف بسیار کم یا بدون اتلاف ارائه می‌شود. اهمیت تاکید بر تصاویر پزشکی، تاثیر و معنای مهم آن برای انسان است. علاوه بر این، استفاده از الگوریتم‌های فشرده‌سازی -مانند الگوریتم پیشنهادی- به دلیل حجم اطلاعات موجود در آن و اهمیت کاهش تلفات اطلاعات برای ذخیره و انتقال تصاویر پزشکی، بسیار مفید است.

دستاوردهای اخیر مدل‌های پیش‌بینی توالی در حوزه‌های متعدد، از جمله فشرده‌سازی، پتانسیل زیادی برای کدک‌های مبتنی بر یادگیری جدید فراهم می‌کند. در چنین مدل‌هایی، شکل و اندازه دنباله ورودی نقش مهمی در یادگیری تابع نگاشت توزیع داده به خروجی هدف دارد. مقاله [۱۶] پیکربندی‌های ورودی و طرح‌های نمونه‌برداری متعددی را برای یک مدل پیش‌بینی توالی چند به یک، به‌ویژه برای فشرده‌سازی تصاویر پزشکی سه‌بعدی (عمق ۱۶ بیت) بدون تلفات بررسی می‌کند. هدف اصلی تعیین روش بهینه برای فعال کردن مدل پیشنهادی حافظه کوتاه‌مدت^۱ (LSTM) برای دستیابی به نسبت تراکم بالا و عملکرد رمزگذاری، رمزگشایی سریع است. مدل‌های LSTM این مقاله با اعتبارسنجی متقاطع ۴ برابری بر روی ۱۲ مجموعه داده MRI و CT با وضوح بالا آموزش داده می‌شوند، در حالی که نسبت تراکم و زمان اجرا مدل را اندازه‌گیری می‌کنند. چندین پیکربندی از توالی‌ها ارزیابی شده‌اند، و نتایج آن نشان می‌دهد که نمونه‌برداری هرمی شکل بهترین مبادله بین عملکرد و نسبت تراکم (تا $\times 3$) را نشان می‌دهد.

در مقاله [۱۷] از دو روش بدون اتلاف و با اتلاف برای فشرده‌سازی تصاویر پزشکی استفاده شد که کیفیت تصویر را حفظ می‌کند. علاوه بر این، برخی از روش‌های تقویت‌کننده برای افزایش کیفیت یک تصویر فشرده استفاده شد. این روش‌ها مورد بررسی قرار گرفتند و چندین نتیجه مقایسه نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل دقیق معیارهای اندازه‌گیری کارایی بهتری را نسبت به سایر روش‌های پردازش تصویر نشان می‌دهد. مقاله [۱۸] به بررسی استفاده از یادگیری عمیق برای فشرده‌سازی بدون تلفات تصاویر فراطیفی می‌پردازد. با توجه به ناکافی بودن روش مدولاسیون کد پالس دیفرانسیل^۲ (DPCM) برای پیش‌بینی اطلاعات باند طیفی، روش پیشنهادی به نام C-DPCM-RNN، از یک شبکه عصبی بازگشتی عمیق (RNN) برای بهبود روش سنتی DPCM و بهبود تعمیم استفاده می‌کند. نتایج این روش عملکرد خوبی را برای کیفیت تصاویر ضمن افزایش ضریب فشرده‌سازی نسبت به سایر روش‌ها نشان می‌دهد. اما به دلیل افزایش پیچیدگی طراحی پیشنهادی از سرعت رمزنگاری و رمزگشایی بالایی برخوردار نیست.

JPEG2000 و کد تصویر BPG مبتنی بر H.265/HEVC [۱۵-۱۱] بهتر عمل کرده‌اند و پتانسیل‌های عالی آن را نشان می‌دهند. این مقاله دو الگوریتم جدید فشرده‌سازی تصویر پزشکی بسیار کم تلفات با کمک شبکه‌های عصبی عمیق را ارائه کرده است. الگوریتم‌های ترکیبی پیشنهادی به گونه‌ای طراحی شده است که در صورت وجود اطلاعات زیاد، فشرده‌سازی آن بیشتر می‌شود. بنابراین، اگر تصاویر حاوی اطلاعات زیادی مانند تصاویر رنگی یا سه‌بعدی باشند، فشرده‌سازی بیشتر از فرمت‌های تجاری مانند JPEG، PNG و TIFF خواهد بود. مزیت دیگر الگوریتم، اجرای آن می‌باشد که ساده و بسیار پر سرعت است. این مزایا در بخش‌های مختلف نتایج قابل نمایش است. این الگوریتم‌ها مشکلاتی را با فشرده‌سازی تصاویر ۸ بیتی در مقیاس خاکستری برای تصاویر MRI و CT برطرف می‌کند. مشکلی که در این مقاله باید حل شود، یافتن مدل جدیدی از فشرده‌سازی با تلفات بسیار پایین است که بر فرمت‌های گرافیکی JPEG و TIFF که به طور گسترده در فشرده‌سازی تصویر پزشکی استفاده می‌شوند، غلبه کند. نوآوری‌های پیشنهادی این کار، همانطور که در بخش نتایج نشان داده خواهد شد، روش‌های ترکیبی فشرده‌سازی بازسازی شده با الگوریتم‌های فراابتکاری است که می‌تواند برای فشرده‌سازی تصویر پزشکی بدون تلفات در نظر گرفته شود. به طور خلاصه، در این مقاله رویکرد فشرده‌سازی و بازسازی جدید بر اساس روش‌های ترکیبی شبکه عصبی عمیق با رمزنگاری هافمن برای فشرده‌سازی بدون تلفات تصاویر پزشکی ارائه خواهد شد و سپس با کمک الگوریتم‌های فراابتکاری WHO و GWO، بازسازی تصاویر رمزگشایی شده انجام شده تا از لحاظ شباهت و نزدیکی به تصویر اصلی بالاترین کیفیت را داشته باشد. سهم اصلی این مقاله در طراحی فشرده‌سازی و بازسازی پیشنهادی تصاویر پزشکی به شرح ذیل است:

- ارائه رویکردهای ترکیبی فشرده‌سازی اتصال شبکه عصبی عمیق DNN با الگوریتم رمزنگاری هافمن.
 - مدل‌سازی یک سیستم غیرخطی پلکانی با درجه‌های مختلف برای تصاویر پزشکی با کمک شبکه عصبی عمیق.
 - بهره‌گیری از یک سیستم پیش‌بین برای پیکسل‌های تصویر اصلی با کمک شبکه عصبی عمیق برای تخمین پیکسل‌های دیگر و کاهش اندازه پیکسل‌های تصویر برای انتقال یا ذخیره‌سازی.
 - بازسازی تصاویر رمزگشایی شده با کمک فیلترینگ مکانی بهینه شده با الگوریتم‌های فراابتکاری.
- سازماندهی مقاله به شرح زیر است. در بخش ۲، پیشینه کارهای مرتبط و مفاهیم استفاده شده به اختصار بررسی می‌شود. چارچوب و جزئیات روش فشرده‌سازی تصویر ترکیبی بهبود یافته در بخش ۳ معرفی شده است. در بخش ۴، ما عملکرد روش خود را با مقایسه با کدک‌های مختلف با استفاده از مجموعه داده‌های مختلف از تصاویر CT و MRI ارزیابی می‌کنیم. نتیجه‌گیری و بحث در بخش ۵ آورده شده است.

¹ Long Short-TermMemory

² Differential pulse code modulation



با توسعه سریع روش‌های یادگیری عمیق، از شبکه‌های عصبی عمیق در این زمینه برای دستیابی به نرخ فشرده‌سازی بالاتر استفاده شده است. روش‌های مبتنی بر مدل‌های آماری خودرگرسیون پیکسلی، عملکرد خوبی را نشان داده‌اند. با این حال، روش پردازش متوالی مانع از استفاده از این روش‌ها در عمل می‌شود. اخیراً مدل‌های خودرگرسیون چند مقیاسی برای رفع این محدودیت پیشنهاد شده‌اند. رویکردهای چند مقیاسی می‌توانند از سیستم‌های محاسباتی موازی به طور موثر استفاده کنند و سیستم‌های عملی بسازند. با این وجود، این رویکردها عملکرد فشرده‌سازی را در ازای سرعت قربانی می‌کنند. در [۱۹]، یک مدل آماری پیش‌رونده چند مقیاسی پیشنهاد شده که از رویکرد پیکسلی و رویکرد چند مقیاسی بهره می‌برد و یک مکانیسم انعطاف پذیر ایجاد شده که در آن ترتیب پردازش پیکسل‌ها را می‌توان به راحتی تنظیم کرد. روش پیشنهادی از روش‌های فشرده‌سازی تصویر بدون تلفات پیشرفته در دو مجموعه داده معیار بزرگ با یک حاشیه قابل توجه بدون کاهش چشمگیر سرعت استنتاج بهتر عمل می‌کند.

مقاله [۲۰]، یک چارچوب دو مرحله‌ای مبتنی بر رمزگذار خودکار کمپرسور-کمپرسور برای فشرده‌سازی تکه‌های تصویر سلول‌های RBC مالاریا پیشنهاد می‌کند. شبکه رمزگذار خودکار دوگانه مبتنی بر باقیمانده پیشنهادی برای استخراج ویژگی‌های منحصر به فرد آموزش داده شده است که سپس برای بازسازی تصویر اصلی از طریق مازول دیکمپرسور استفاده می‌شود. دو نمایش فضای پنهان (اول برای تصویر اصلی و دوم برای تصویر باقیمانده) برای بازسازی تصویر اصلی نهایی استفاده می‌شود. Color-SSIM به طور انحصاری برای بررسی کیفیت قسمت کرومینانس تصاویر سلولی پس از رفع فشرده‌سازی استفاده شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که کار پیشنهادی به ترتیب در PSNR، SSIM، Color و MS-SSIM تقریباً ۳۵٪، ۱۰٪ و ۵٪ از سایر روش‌های فشرده‌سازی مرتبط با شبکه عصبی برای تصاویر پزشکی بهتر عمل می‌کند. این الگوریتم به ترتیب بهبود قابل توجهی در صرفه‌جویی در بیت‌های ۷۴، ۷۸، ۷۶ و ۷۵ درصد نسبت به JPEG-LS، JP2K-LM، CALIC و رویکرد شبکه عصبی اخیر نشان می‌دهد. در [۲۱] تاثیر روش‌های فشرده‌سازی با تلفات بر وظیفه طبقه‌بندی سری‌های زمانی با استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق بررسی شد. علاوه بر این، این مقاله یک رویکرد فشرده‌سازی کارآمد را برای سری‌های زمانی تک متغیره و چند متغیره پیشنهاد می‌کند که اجرای بلند کردن تبدیل موجک گسسته را با یک کمپرسور محدود به خطا، یعنی Squeeze (SZ) ترکیب می‌کند تا به یک مبادله بهینه بین فشرده‌سازی داده و کیفیت داده ارائه دهد. کدک‌های تصویر سنتی مانند WebP، JPEG2000، FLIF معمولاً از حالت بدون اتلاف پشتیبانی می‌کنند. اخیراً رویکردهای مبتنی بر یادگیری عمیق، پتانسیل خود را در این مرحله نشان داده‌اند. HyperPrior یک روش موثر برای فشرده‌سازی تصویر با اتلاف پیشنهاد شده است.

نویسندگان [۲۲] پیشینی را از مدل با اتلاف به فشرده‌سازی بدون تلفات تعمیم می‌دهند و یک اصطلاح هنجار L2 را در تابع اتلاف برای سرعت بخشیدن به روند تمرین پیشنهاد می‌کنند. علاوه بر این، در این مقاله مدل‌های پارامتری متفاوتی برای کدهای پنهان بررسی شده و پیشنهاد می‌شود از احتمالات مخلوط گاوسی برای دستیابی به مدل‌های بافت تطبیقی و انعطاف‌پذیر استفاده شود. نتایج تجربی تأیید می‌کند که روش پیشنهادی می‌تواند از فشرده‌سازی بدون تلفات مبتنی بر یادگیری عمیق موجود بهتر عمل کند و همچنین از JPEG2000 و WebP برای تصاویر JPG بهتر عمل کند. یک الگوریتم فشرده‌سازی عمیق بدون تلفات کارآمد در [۲۳] پیشنهاد شد که از کدگذاری حسابی برای تعیین کمیت خروجی شبکه استفاده می‌کند. این طرح اثرات آموزشی حافظه کوتاه‌مدت دو جهته (Bi-LSTM) و انتقال دهنده‌ها را بر روی داده‌های توان سطح دقیقه‌ای که در حوزه زمان فرکانس کم نیستند، مقایسه می‌کند. مدل می‌تواند به طور خودکار ویژگی‌ها را استخراج کند و با کمیت توزیع احتمال سازگار شود. نتایج داده‌های توان سطح دقیقه نشان می‌دهد که میانگین نسبت تراکم (CR) ۴/۰۶ است که نسبت تراکم بالاتری نسبت به روش کدگذاری آنتروپی کلاسیک دارد.

یک چارچوب فشرده‌سازی تصویر لایه‌ای ترکیبی با ترکیب یادگیری عمیق و کدک‌های تصویر سنتی در [۲۴] پیشنهاد می‌شود. در رمزگذار، ابتدا از یک شبکه عصبی کانولوشنال^۱ (CNN) برای به دست آوردن یک نمایش فشرده از تصویر ورودی استفاده می‌شود، که به‌طور بدون تلفات توسط کدک FLIF به عنوان لایه پایه جریان بیت کدگذاری می‌شود. بازسازی درشت ورودی توسط CNN دیگری از نمایش فشرده بازسازی شده به دست می‌آید. پس از آن باقیمانده بین ورودی و بازسازی درشت به دست آمده و توسط کدک BPG مبتنی بر H.265/HEVC به عنوان لایه تقویت‌کننده جریان بیت کدگذاری می‌شود. نتایج استفاده از مجموعه داده‌های Kodak و Tecnick نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی از کدگذاری لایه‌ای مبتنی بر یادگیری عمیق و کدک‌های سنتی از جمله BPG در معیارهای PSNR و MS-SSIM در طیف وسیعی از نرخ‌های بیت بهتر عمل می‌کند. مقاله [۲۵] یک روش فشرده‌سازی تصویر بدون تلفات را براساس یادگیری مقادیر پیکسل و زمینه‌ها از طریق پرسپترون‌های چند لایه (MLP) ارائه می‌کند. خطاهای پیش‌بینی و زمینه‌های به دست آمده توسط MLP‌ها به رمزگذارهای حسابی تطبیقی، مانند طرح‌های فشرده‌سازی بدون تلفات معمولی، ارسال می‌شوند. پیش‌بینی مبتنی بر MLP مدت‌هاست که برای فشرده‌سازی بدون تلفات تلاش می‌شود، و اخیراً شبکه‌های عصبی کانولوشنال (CNN) نیز برای کدگذاری با اتلاف بدون تلفات پذیرفته شده‌اند. در حالی که طرح‌های فشرده‌سازی بدون تلفات مبتنی بر MLP فقط بر پیش‌بینی دقیق پیکسل متمرکز شده‌اند، این کار، به طور مشترک مقادیر و زمینه‌های پیکسل را پیش‌بینی می‌کند.

^۱ Convolutional neural network (CNN)



بزرگترین چالش شبکه‌های اینترنت اشیاء این است که اینترنت اشیاء ممکن است حافظه کافی برای مدیریت تمام داده‌های تراکنش در شبکه نداشته باشد. در [۳۰]، یک روش فشرده‌سازی برای کاهش ترافیک داده شبکه اینترنت اشیاء ارائه شد. بنابراین، الگوریتم‌های فشرده‌سازی بدون تلفات مختلف، مانند الگوریتم‌های مبتنی بر آنتروپی یا فرهنگ لغت، و روش‌های فشرده‌سازی عمومی را بررسی می‌کند تا مشخص کند کدام الگوریتم یا روش به مشخصات اینترنت اشیاء پایبند است. علاوه بر این، این مقاله آزمایش‌های فشرده‌سازی را با استفاده از آنتروپی (هافمن، هافمن تطبیقی) و دیکشنری (LZ77، LZ78) و همچنین پنج نوع از مجموعه داده‌های ترافیک داده اینترنت اشیاء انجام می‌دهد. اگرچه الگوریتم‌های بالا می‌توانند ترافیک داده‌های اینترنت اشیاء را کاهش دهند، هافمن تطبیقی بهترین الگوریتم فشرده‌سازی را ارائه داد. بنابراین، در این مقاله، هدف ارائه یک روش فشرده‌سازی مفهومی برای ترافیک داده‌های اینترنت اشیاء با بهبود یک هافمن تطبیقی مبتنی بر مفاهیم یادگیری عمیق با استفاده از وزن‌ها، هرس کردن و تجمیع در شبکه عصبی است. اعتقاد بر این است که الگوریتم پیشنهادی نسبت فشرده‌سازی بهتری را به دست می‌آورد. از مطالعه و بررسی مقالات [۳۱-۳۸]، موارد زیر قابل تأمل است تا اهداف روش پیشنهادی را برجسته کند:

الف) فشرده‌سازی داده‌های سلامتی و پزشکی افراد و مراقبت‌های بهداشتی الکترونیکی، در جهت سیستم مانیتورینگ و کاهش نیاز ذخیره‌سازی سیگنال و تصاویر دیجیتال مورد نیاز است.

ب) با توجه به اینکه همواره، فشرده‌سازی داده با اتلاف، به دلیل نسبت فشرده‌سازی بالا، استفاده می‌شود، اما دقت اطلاعات انتقالی و بازیابی شده کاهش می‌یابد. این امر جستجو برای یک رویکرد فشرده‌سازی با اتلاف کم و بهبود کیفیت تصاویر را با اهمیت می‌کند.

ج) عملکرد فشرده‌سازی یک سیگنال بیولوژیکی باید با مقایسه ویژگی‌های تشخیصی داده‌ها ارزیابی شود. بنابراین حفظ این ویژگی‌ها برای تشخیص درمانی از اهمیت بالایی برخوردار است.

د) روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق به دلیل توانایی‌های خود در افزایش بهره فشرده‌سازی نسبت به سایر روش‌ها انتخاب می‌شوند ولی تلفات اطلاعاتی در این روش دقت را کاهش می‌دهد.

ه) روش‌های بدون اتلاف، شامل کدگذاری هافمن، دارای نسبت فشرده‌سازی پایین و دقت و سرعت تبدیل قابل قبول می‌باشد. بنابراین در این مقاله سعی شده عملکرد ترکیبی روش رمزگذاری هافمن به صورت آبخاری و پشت سر هم با یک رویکرد فشرده‌سازی مبتنی بر یادگیری عمیق بررسی شود. این کار برای سیستم عامل‌هایی مانند IOMT که به پردازش زمان واقعی نیاز دارند و اطلاعات مهم پزشکی افراد را شامل می‌شوند، بسیار مناسب است و سریع عمل می‌کند. همچنین این مقاله با ایجاد یک راهکار بازسازی اطلاعات تصویر مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری می‌تواند به روش‌های فشرده‌سازی با نسبت بالا و کیفیت بدون اتلاف و یا بسیار کم اتلاف دست یابد.

همچنین در این چارچوب مبتنی بر MLP، یادگیری پیش‌رونده، یادگیری باقیمانده و شبکه دوبلکس را از نظر کانال اتخاذ و طراحی می‌کند، که منجر به بهبود کد نویسی در مقایسه با روش‌های مرسوم می‌شود. شبکه‌های عصبی عمیق (DNN) به طور گسترده برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی تلفن همراه که نیاز به پیاده‌سازی بلادرنگ و فضای حافظه بزرگ دارند، استفاده می‌شوند. بنابراین، یک چالش جدید برای اجرای کم مصرف و کارآمد از نوع برنامه‌ها، مانند تشخیص گفتار و طبقه‌بندی تصویر، برای دستگاه‌های لبه جاسازی شده ارائه می‌کند.

در [۲۶] یک رویکرد فشرده‌سازی DNN مبتنی بر سخت‌افزار برای رسیدگی به منابع حافظه محدود در دستگاه‌های لبه ارائه می‌شود. همچنین، یک الگوریتم فشرده‌سازی مبتنی بر آنتروپی جدید برای رمزگذاری وزن‌های DNN، و یک روش رمزگشایی بلادرنگ و اجرای سخت‌افزار اختصاصی کارآمد پیشنهاد می‌کند. رویکرد پیشنهادی کاهش قابل توجهی از وزن‌های DNN مورد نیاز را امکان‌پذیر می‌سازد (تقریباً ۷۰٪ و ۶۳٪ برای AlexNet و VGG19، به ترتیب)، در حالی که امکان رمزگشایی یک وزن در هر چرخه ساعت را فراهم می‌کند. نتایج، نسبت فشرده‌سازی بالایی را در مقایسه با الگوریتم‌های بدون تلفات معروف نشان می‌دهد. رمزگشای سخت‌افزاری، اجرای کارآمد شبکه‌های DNN بزرگ را در دستگاه‌های لبه کم‌مصرف با منابع حافظه محدود امکان‌پذیر می‌کند. مقاله [۲۷] یک روش فشرده‌سازی بدون تلفات جدید را برای حجم‌های تصویربرداری پزشکی ۱۶ بیتی ارائه می‌دهد. هدف، آموزش شبکه عصبی به عنوان یک پیش‌بینی‌کننده داده سه‌بعدی است که تفاوت‌ها را با مقادیر داده‌های اصلی به حداقل می‌رساند و باقیمانده‌ها را با استفاده از کدگذاری حسابی فشرده می‌کند. عملکرد فشرده‌سازی مدل‌های پیشنهادی با روش‌های بدون تلفات پیشرفته ارزیابی می‌شود که نشان می‌دهد رویکرد پیشنهادی نسبت فشرده‌سازی بالاتری را در مقایسه با JPEG، LS، JPEG2000، JP3D، و HEVC انجام می‌دهد و به خوبی تعمیم می‌یابد. در [۲۸]، از داده‌کای بزرگ برای تنظیم کتاب کد تصویر (پیدا کردن اجزای اصلی تصاویر) استفاده شده است. این مقاله یک الگوریتم فشرده‌سازی نرم را برای تصاویر پزشکی چند جزئی پیشنهاد می‌کند که می‌تواند ساختار اساسی تصاویر را منعکس کند. در [۲۹]، یک سیستم فشرده‌سازی پیشنهاد شده که به مشکلات محدودیت‌های انرژی آندوسکوپی کپسول ویدیویی بی‌سیم می‌پردازد. این کار شامل یک حلقه بازخورد طبقه‌بندی، بر اساس یادگیری عمیق، برای تعیین اهمیت تصاویر در حال انتقال می‌باشد. این طبقه‌بندی با یک الگوریتم فشرده‌سازی مبتنی بر پیش‌بینی ساده استفاده می‌شود تا امکان مدیریت هوشمند انرژی محدود کپسول را فراهم کند. بنابراین تصاویر را به دو دسته با اهمیت و کم اهمیت بخش‌بندی می‌کند و بر اساس آن فشرده‌سازی با اتلاف و بدون اتلاف انجام می‌شود.



۳- روش‌های فشرده‌سازی پیشنهادی

ایجاد یک تعامل برای تصاویر مختلف با توجه به اهمیت آنها، این درجه تغییر خواهد کرد. شکل (۴) دو نمونه از نگاشت پلکانی تصویر MRI را برای دو درجه ۱۰ و ۲۰ نمایش داده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش درجات در کیفیت تصاویر کاهش مشاهده می‌شود.

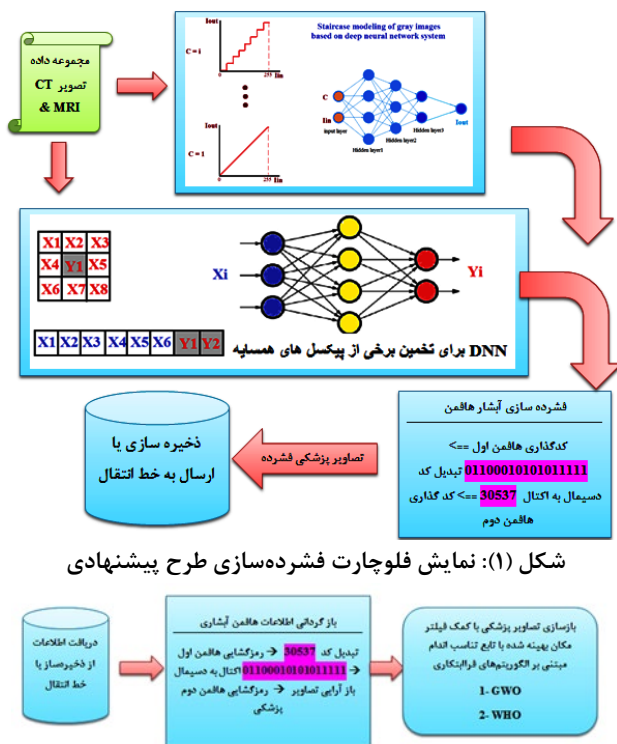
۳-۲- روش تخمین پیکسل‌های تصویر با DNN

در رویکرد دیگر، به جای دستکاری اطلاعاتی و ایجاد اتلاف در اطلاعات پیکسل‌های تصویر، از یک رویکرد تخمینی برای چند پیکسل بر اساس اطلاعات پیکسلی همسایه مطابق شکل (۱) بهره بردیم. در روش اول با کمک شبکه عصبی آموزش دیده برای اطلاعات تصویر چند نمونه تصویر MRI و CT مطابق شکل (۵)، به یک روش پیش-بینی پیکسل مرکزی در یک پنجره ۳ در ۳ رسیده‌ایم. بنابراین به یک سیستم با ۸ ورودی و یک خروجی تخمینی رسیده‌ایم. در روش دوم، از یک پنجره ۸ در ۱ استفاده کرده و بر اساس شبکه آموزش دیده شکل (۶)، دو مقدار از پیکسل‌های هفتم و هشتم را محاسبه کرده‌ایم. شکل (۷) نتایج مقایسه تصاویر به دو روش مختلف را نمایش داده است. در این مقایسه تصاویر با پنجره‌های ۳ در ۳ از دقت تخمین بسیار خوبی برخوردار می‌باشد. با کمک این روش تخمین با کمک شبکه عصبی عمیق، توانسته‌ایم با توجه به میزان نسبت پیکسل‌های تخمینی، به فشرده‌سازی تصویر کمک کنیم. برای نمونه، در روش اول با نسبت ۸ بر ۹ و در روش دوم با نسبت ۶ بر ۸ توانسته‌ایم این کاهش حجم اطلاعات تصویر را اعمال کنیم.

در روش‌های ارائه شده برای فشرده‌سازی تصاویر پزشکی با توجه به اهمیت این اطلاعات برای تشخیص بیماری، سه مساله قابل بررسی است که برای رسیدن به یک فشرده‌سازی خوب بایستی معرفی شود. نسبت فشرده‌سازی با تعریف تعداد بیت‌های معرف هر پیکسل و میزان شباهت تصاویر بازگردانی شده با تصاویر اصلی (دقت فشرده‌سازی) و سرعت رمزگذاری و رمزگشایی تصاویر با توجه به کاربردهای این سیستم‌ها در شبکه‌های اینترنتی، سه فاکتور مهم برای بررسی فشرده‌سازی است. در این کار ما از دو روش فشرده‌سازی مبتنی بر شبکه‌های عصبی عمیق و رمزنگاری هافمن کسکد بهره بردیم و برای اصلاح تصاویر بازگردانی شده، از روش فیلترینگ مکانی^۱ بهره‌مند شده با الگوریتم‌های فرا ابتکاری شامل الگوریتم گرگ خاکستری^۲ GWO و الگوریتم اسب وحشی^۳ WHO بهره بردیم. شکل (۱) نمای بلوک دیاگرام طرح پیشنهادی برای فشرده‌سازی را نمایش می‌دهد و اطلاعات تصویر را برای ذخیره‌سازی یا انتقال در شبکه اینترنتی آماده می‌کند. بنابراین برای داشتن یک سیستم زمان-واقعی برای کاربردهای اینترنتی، داشتن سرعت بالا از چالش‌های مهم در ارائه این روش‌ها خواهد بود. شکل (۲) بلوک دیاگرام گسترده‌سازی و بازگردانی تصاویر از اطلاعات دریافتی یا ذخیره شده در شبکه اینترنتی می‌باشد. در ادامه روش‌های استفاده شده برای داشتن یک فشرده‌سازی بسیار کم اتلاف با نسبت فشرده‌سازی بالا را بررسی و تشریح خواهیم کرد.

۳-۱- روش مدل‌سازی پلکانی تصاویر پزشکی

در این رویکرد با توجه به اینکه مساله تکرار عناصر در آرایه‌های مختلف باعث افزایش بیشتر فشرده‌سازی اطلاعات به کمک روش هافمن می‌شود، تلاش شده است از یک مدل غیرخطی پلکانی طراحی شده با کمک شبکه عصبی عمیق استفاده کنیم. در این روش، تصاویر خاکستری پزشکی در محدوده ۰ تا ۲۵۵ بر اساس درجه تعریف شده به بازه‌هایی تقسیم‌بندی می‌شوند که با کمک یک مدل آموزش دیده غیرخطی از شبکه عصبی عمیق، یک نگاشت پیکسل به پیکسل ارائه می‌کند. در شکل (۳) نمای سیستم آموزش داده شده برای این بخش از کار معرفی شده است. این مدل بر اساس درجات مختلف در بازه ۱ تا ۲۰، محدوده تصاویر را به مقادیر تکراری از تصویر نگاشت می‌کند. این کار باعث می‌شود با ایجاد عناصر تکراری بتوان میزان فشرده‌سازی تصاویر با کمک رمزنگاری هافمن را بالا برد. بر اساس محدوده درجات تعریف شده در این تحقیق، هر چه به درجات بالاتر برسیم (چون تعداد تکرارها بیشتر می‌شود)، میزان فشرده‌سازی افزایش خواهد یافت. اما از طرف دیگر با افزایش درجه پلکانی، با اتلاف اطلاعاتی بیشتر روبرو می‌شویم که این کار فشرده‌سازی را دچار مشکل می‌کند. بنابراین برای

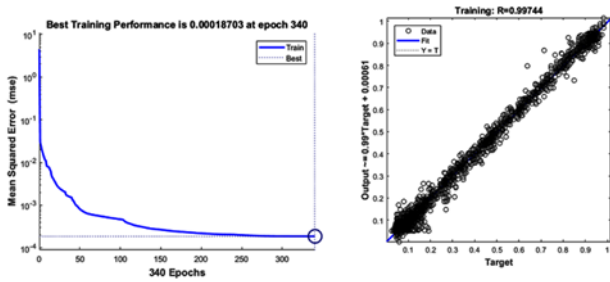


شکل (۱): نمایش فلوجارت فشرده‌سازی طرح پیشنهادی

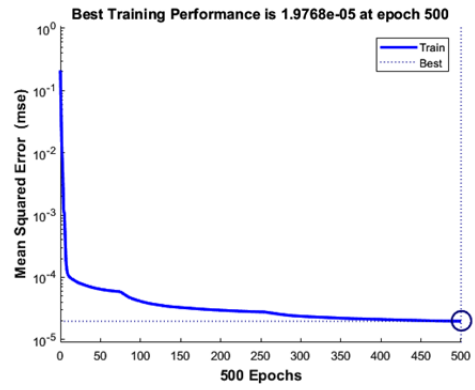
شکل (۲): نمایش فلوجارت طرح پیشنهادی برای بازگردانی تصاویر فشرده شده و بازسازی آنها

1 location filtering
2 Grey Wolf Optimizer (GWO)
3 Wild Horse Optimizer (WHO)

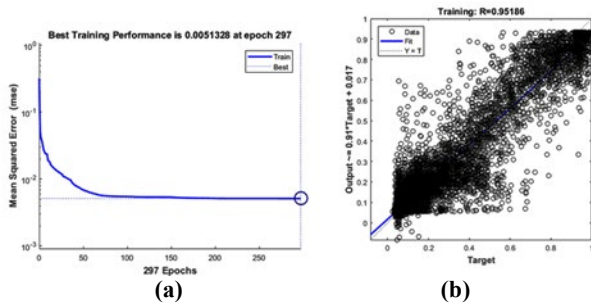




شکل (۵): شبکه عصبی عمیق آموزش دیده برای پنجره ۳ در ۳. الف - آموزش شبکه عصبی با لایه‌های مخفی (۱، ۵، ۱۰، ۱۸ و ۵۰). ب - رگرسیون خروجی.



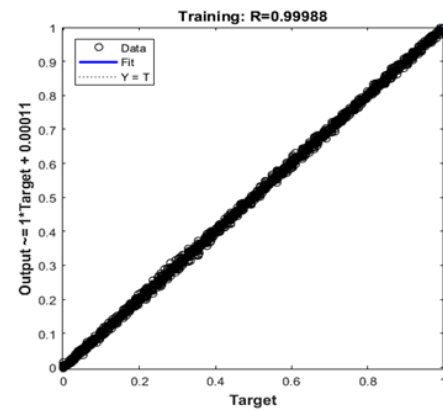
(a)



(a)

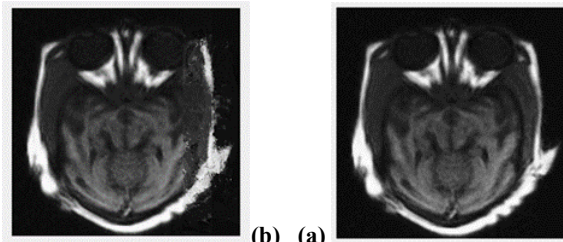
(b)

شکل (۶): شبکه عصبی عمیق آموزش دیده برای پنجره ۱ در ۱. الف - آموزش شبکه عصبی با لایه‌های مخفی (۲، ۵، ۱۸ و ۲۰). ب - رگرسیون خروجی.

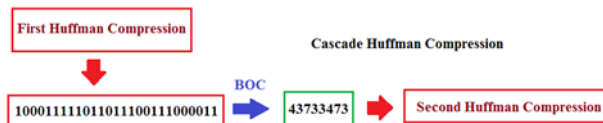


(b)

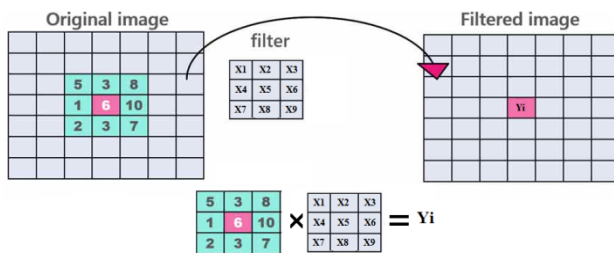
شکل (۳): نمایش سیستم شبکه عصبی عمیق آموزش دیده برای نگاشت پلکانی تصویر. الف - آموزش شبکه عصبی با لایه‌های مخفی (۱، ۵، ۱۰، ۱۸ و ۵۰). ب - رگرسیون خروجی.



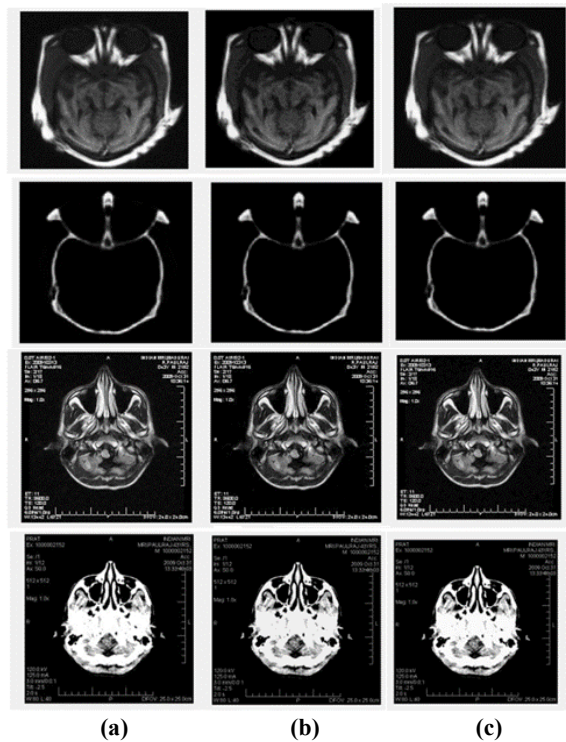
شکل (۷): مقایسه نتایج عملکرد تخمین پیکسل‌ها برای دو تصویر مختلف. (a) پنجره ۳ در ۳ - (b) پنجره ۱ در ۱.



شکل (۸): نمایش عملکرد فشرده‌سازی نمونه با کمک رمزنگاری هافمن آبشاری.



شکل (۹): نحوه فیلترینگ تصویر به ازای یک فیلتر ۳ در ۳.



شکل (۴): نمایش عملکرد نگاشت پلکانی با درجات (a) تصویر اصلی (b) درجه ۲۰. (c) درجه ۱۰.



۳-۳- فشرده‌سازی با رمزنگاری هافمن آبشاری^۱

برای افزایش بیشتر فشرده‌سازی، از یک روش رمزنگاری هافمن آبشاری بهره برده‌ایم. در این رویکرد با کمک یک روش تبدیل کد باینری به کد اکتال، اطلاعات فشرده شده را با یک رمزنگاری هافمن اولیه برای رمزنگاری هافمن ثانویه آماده می‌کنیم. این روش کمک می‌کند تا از حداکثر ظرفیت فشرده‌سازی اطلاعاتی بهره ببریم. شکل (۸) نمای عملیاتی این طرح را ارائه کرده است.

۳-۴- بازگردانی تصویر و بازسازی آن با فیلترینگ مکانی بهینه‌شده با الگوریتم‌های فراابتکاری

برای نمایش ترکیب، مورفولوژی و پیچیدگی عناصر از فیلترها استفاده می‌شود. عمل فیلتر عمدتاً به منظور بالابردن وضوح تصاویر از طریق حذف فرکانس‌های فضایی مشخصی در تصاویر انجام می‌گردد. فرکانس‌های فضایی، تغییرات روشنایی و مقادیر متفاوت را در خود دارد. فیلترهای ترکیبی نیز به منظور استخراج اطلاعات برای ترکیب تصاویر به کار می‌روند. همچنین، فیلترها برای آشکارسازی اطلاعات و بازسازی تصاویر به کار گرفته می‌شوند. از فیلترهای مورفولوژی نیز به منظور تهیه تصاویر بر اساس شکل پدیده‌ها استفاده می‌شود. از دیگر کاربردهای فیلترها، ادغام تصاویر، بهبود کنتراست، تهیه تصاویر رنگی ترکیبی و تبدیل‌های طیفی و مکانی است. این فیلترها به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- فیلترهای مکانی: فیلترهایی هستند که بعد مکان را در نظر گرفته و از کرنل‌ها یا پنجره‌های با ابعاد ثابت استفاده می‌کنند. این فیلترها، روی تک تک پیکسل‌های تصویر اعمال شده و انواع مختلفی بالاگذر و پایین گذر دارد.
- فیلترهای فرکانسی (طیفی): این فیلترها تغییرات فرکانس‌ها را در نظر می‌گیرند که به دو دسته فرکانس بالا (HFF) و فرکانس پایین (LFF) تقسیم می‌شوند. در واقع این فیلترها اطلاعات و تغییرات فرکانس‌ها را در تصاویر مورد بررسی قرار می‌دهند. در پردازش تصویر، یکی از رایج‌ترین راه‌ها برای بهبود یک تصویر، فیلترهای مکانی هست. فیلترهای مکانی در حوزه مکان روی تصویر اعمال می‌شوند و اطلاعات مورد نظر را از تصویر استخراج می‌کنند. رایج‌ترین انواع فیلترهای مکانی، فیلتر متوسط‌گیری، Median، لاپلاسین، Canny، Prewitt، Sobel و Wiener است که از آن‌ها در کاربردهای مختلفی مثل کاهش نویز، بهبود لبه‌ها و آشکارسازی لبه‌های تصویر استفاده می‌شود. پیکسل‌های همسایه، اطلاعات مهمی در مورد هر پیکسل ارائه می‌دهند؛ که می‌توان از آنها برای حذف نویز و شناسایی لبه‌های تصویر استفاده کرد. به طور ساده، فیلترهای مکانی این اطلاعات را استخراج می‌کنند. در این مرحله که برای بازگردانی اطلاعات ارائه شده، پس از رمزگشایی اطلاعات تصویر با کمک

رمزگشایی هافمن کسکید، از یک روش فیلترینگ مکانی بهینه برای اصلاح تصاویر استخراج شده بهره خواهیم برد. در ابتدا یک فیلتر مکانی با اندازه مشخص تعریف می‌شود که درایه‌های آن مقادیر مختلفی دارند. بسته به اینکه مقدار درایه‌های فیلتر مکانی چه باشد، خاصیت فیلتر مشخص می‌شود. اگر مقادیر بر اساس انتگرال تعریف شوند، در نتیجه اعمال فیلتر روی تصویر، تصویر هموار می‌شود و اگر براساس مشتق تعریف شوند، در نتیجه آن لبه‌های تصویر استخراج می‌شود. در این تحقیق با هدف اصلاح تصاویر بازگردانی شده، ضرایب فیلتر به کمک الگوریتم‌های فراابتکاری تعریف می‌شود. بر مبنای ضرایب ماتریس N در N شامل N^2 متغیر برای محاسبه بهترین تصویر در تشابه با تصویر اصلی ایجاد کرده است. شکل (۹) نحوه فیلتر کردن تصویر در حوزه مکان را نمایش داده است. در این کار برای تعیین ضرایب فیلتر با اندازه‌های مختلف از دو الگوریتم فرا ابتکاری گرگ خاکستری GWO و اسب وحشی WHO بهره برده‌ایم. برای تعیین مطابقت تصاویر برای ۲۰ نمونه تصویر تحت آموزش از نوع CT و MRI برای بهینه‌سازی استفاده شد. در این مورد تصاویر استخراج شده بعد از گسترده‌سازی با تصاویر اصلی به کمک سه معیار ضریب همبستگی و مدولاسیون شاخص تشابه ساختاری^۲ (SSIM) و نسبت سیگنال به نویز پیک^۳ (PSNR) مطابق تابع هدف زیر با هم مقایسه شده و بهترین ضریب فیلترینگ استخراج می‌شود. که در این تابع x معرف متغیرهای ضریب فیلترینگ می‌باشد. N اندازه ماتریس فیلتر و I تصویر اصلی است که قرار است بعد از اعمال روش‌های فشرده‌سازی شبکه عصبی عمیق با این تصویر مقایسه شود.

```
fitness function for improved image:
function [outnc] = improvcompressimg(x, N, I)
load ('info_3.mat')
[m, n] = size(I);
Data = double(reshape(I, [1, m * n]))/255;
Z1 = uint8(255 * sim(net, Data));
img = uint8(reshape(Z1, [m, n]));
f = reshape(x, [N, N]);
img1 = uint8(abs(filter2(f, img)));
NNCC1 = corr2(double(I), double(img1));
[ssimval, ssimmap] = ssim(img1, I);
[peaksnr, snr] = psnr(img1, I);
outnc = 50 * (1 - ssimval) + 100 * (1 - NNCC1)
+ 100 * (1/peaksnr);
end
```

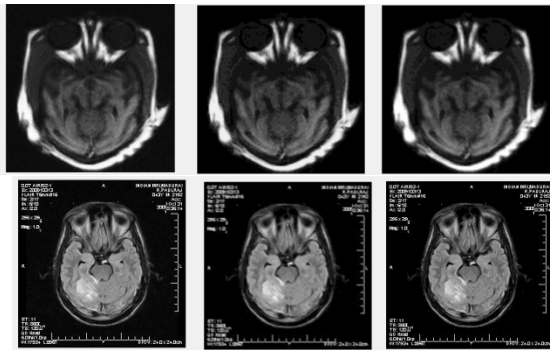
شکل‌های (۱۰-۱۱) نحوه عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری را نمایش داده است. نتایج برای محاسبه بهترین پاسخ‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، الگوریتم اسب وحشی توانسته با نرخ بهینه‌سازی بهتر و همگرایی زودتر به جواب بهینه جهانی دست یابد. در نهایت با اعمال فیلترینگ بر تصاویر نمونه توانسته‌ایم به اصلاح تصویر و بازسازی بهینه تصاویر بپردازیم. برای بررسی عملکرد این بازسازی پیشنهاد شده در این تحقیق مطابق

² Structural Similarity Index Modulation (SSIM)

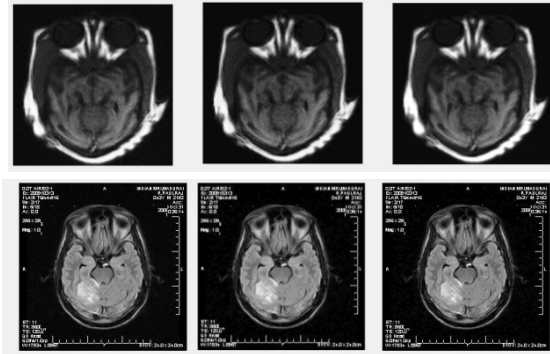
³ Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

¹ Cascading Huffman Encryption



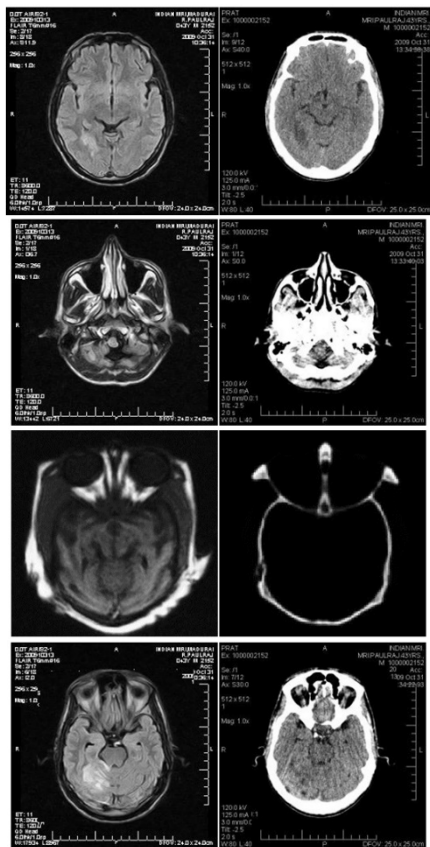


GWO



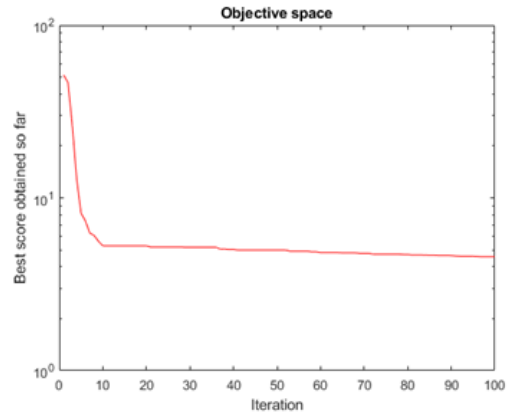
WHO

شکل (۱۲): نمایش نتایج اصلاح شده از تصاویر مختلف

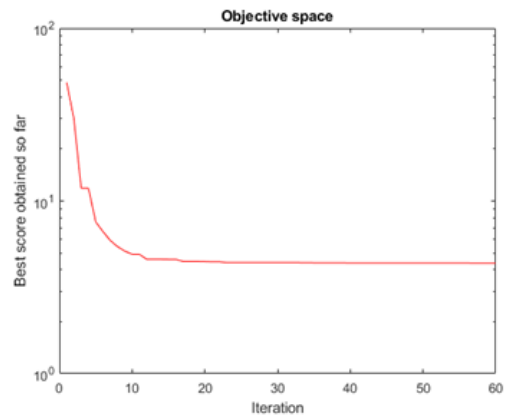


شکل (۱۳): نمایش تصاویر سر و مغز از بیماران مختلف. (الف) MRI و (ب) CT

شکل (۱۲) برای چند نمونه از تصاویر این بهبودها بررسی شده است. این تصاویر MRI و CT برای نمونه‌های اصلی، اتلاف شده و اصلاح شده با هر دو الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است. بررسی‌ها نشان داد الگوریتم اسب وحشی توانسته بهبود خوبی در تصاویر ایجاد نماید. در بخش نتایج، معیارهای ارزیابی بر تصاویر اصلاح شده اعمال می‌شود و با سایر مقالات مقایسه شده است. بنابراین در این کار تنها از الگوریتم بهینه‌سازی اسب وحشی برای تعریف ضرایب ماتریس فیلترینگ مکانی برای بخش بازسازی تصاویری بهره خواهیم برد.



شکل (۱۰): نمایش عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری



شکل (۱۱): نمایش عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی اسب وحشی

جدول (۱): نمایش مقایسه الگوریتم‌های فراابتکاری برای تعیین ضرایب فیلترینگ.

الگوریتم‌های فراابتکاری	ضرایب فیلتر مکان	بهینه جهانی تابع هدف
GWO	[۰/۱۴۲۴۱ ۰/۱۴۸۶۸ ۰/۰۴۱۱۹۲ ۰/۰۱۷۹۰۶ ۰/۲۲۸۱۱ ۰/۱۶۵۳۶ ۰/۰۰۲۳۶۸ ۰/۲۸۱۰۱ ۰/۰۳۳۱۱۸]	۴/۵۶۳۹
WHO	[۰ ۰/۱۹۱۹۸ ۰/۰۶۵۳۶ ۰/۱۰۹۹۴ ۰/۴۶۸۳۹ ۰/۰۰۲۹۷۸۷ ۰/۰۰۹۲۴۷۲ ۰/۱۸۶۷۴ ۰/۰۲۱۰۹۶]	۴/۳۶۵۹



۴- نتایج شبیه‌سازی

۴-۱- مجموعه داده

مجموعه داده برای انجام ارزیابی تجربی و نسبت فشرده‌سازی برحسب نسبت بیت‌ها بر هر پیکسل مشخص می‌شود. مجموعه داده عمومی حاوی فایل‌های DICOM است که در مجموع ۱۲ جلد MRI از اسکن سر بیماران را تشکیل می‌دهد [۳۹-۴۰]. هر فایل شامل تصاویر مختلف MRI و CT می‌باشد. هر تصویر دارای وضوح 512×512 با فاصله پیکسلی $[0.5, 0.5]$ است. همه پیکسل‌ها با حداقل مقدار شدت ۰ و حداکثر ۲۵۵ است. تصویری از نماهای برش متعامد از Dataset در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

۴-۲- معیارهای ارزیابی

یک مرحله ضروری پردازش تصویر، فشرده‌سازی تصویر پزشکی است. مقایسه تصاویر برای ارزیابی کیفیت فشرده‌سازی بخش ضروری اندازه-گیری بهبود است. انتخاب متریک یکی از چالش‌های ارزیابی فشرده-سازی پزشکی است [۴۱ و ۴۲]. استفاده از معیارهای ارزیابی مناسب برای اندازه‌گیری روش‌های فشرده‌سازی و بهبود بسیار مهم است. ما از چهار معیار ارزیابی به شرح زیر استفاده کردیم:

- مدولاسیون شاخص تشابه ساختاری (SSIM).
- MSE
- PSNR
- ضریب همبستگی

روش تعیین شاخص تشابه ساختاری (SSIM) برای ارزیابی شباهت دو تصویر استفاده می‌شود. درخشندگی، کنتراست و ساختار سه عبارت هستند که برای تعیین SSIM استفاده می‌شود [۴۳]:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [C(x, y)]^\beta \cdot [S(x, y)]^\gamma \quad (1)$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (2)$$

$$C(x, y) = \frac{2\delta_x\delta_y + C_2}{\delta_x^2 + \delta_y^2 + C_2} \quad (3)$$

$$S(x, y) = \frac{\delta_{xy} + C_2}{\delta_x\delta_y + C_2} \quad (4)$$

در معادلات بالا، μ_x ، μ_y ، σ_x ، σ_y ، δ_{xy} به ترتیب میانگین محلی، SD و کوواریانس متقاطع را برای تصاویر x و y نشان می‌دهند. اگر $\alpha = \beta = \gamma = 1$ (به عنوان مقادیر پیش‌فرض برای توان‌ها)، و $C_3 = C_2/2$ (به عنوان مقدار پیش‌فرض برای C_3) باشد، شاخص $SSIM$ را می‌توان به صورت (۵) ساده کرد:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\delta_x\delta_y + C_1)(2\delta_x\delta_y + C_2)}{(\delta_x^2 + \delta_y^2 + C_1)(\delta_x^2 + \delta_y^2 + C_2)} \quad (5)$$

یک معیار ارزیابی مدل که بیشتر با مدل‌های رگرسیونی اعمال می‌شود، میانگین مربعات خطا است. برای ارزیابی روش‌های فشرده-سازی و روش‌های افزایش، می‌توان از روش MSE استفاده کرد:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (6)$$

در معادله بالا، $I(i, j)$ و $K(i, j)$ به ترتیب مقادیر پیکسل‌های اصلی و ارزیابی شده را در ردیف i و ستون j برای تصویر $M \times N$ نشان می‌دهند. MSE به این بستگی دارد که پیکسل‌های تصویر دقیق و تصویر خروجی چقدر متفاوت است. اگر تصویر دقیق و تصویر خروجی یکسان باشد، MSE برابر صفر می‌شود.

یکی از معیارهای ارزیابی کیفیت مناسب برای فشرده‌سازی تصویر پزشکی و بهبود تصویر پزشکی، نسبت سیگنال به نویز پیک (PSNR) است. PSNR نسبتی از حداکثر مقدار ممکن (قدرت) یک نشانگر را با عملکرد یک نویز اعوجاج نشان می‌دهد، که به طور کلی بر کیفیت نمایش آن تأثیر می‌گذارد. PSNR به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$PSNR = 20 \log \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (7)$$

ضریب همبستگی تصویر^۱، یک تحلیل دو تصویری است که قدرت ارتباط بین دو تصویر و جهت رابطه را اندازه‌گیری می‌کند. از نظر قدرت رابطه، مقدار ضریب همبستگی بین +۱ و -۱ متغیر است. مقدار ± 1 درجه ارتباط بین دو تصویر را نشان می‌دهد. با رفتن مقدار ضریب همبستگی به سمت ۰، رابطه بین دو تصویر ضعیف‌تر خواهد بود. جهت رابطه با علامت ضریب نشان داده می‌شود. علامت + نشان‌دهنده رابطه مثبت و علامت - نشان‌دهنده رابطه منفی است. همبستگی کوواریانس را می‌توان زمانی اعمال کرد که یک رابطه معمولی توزیع شده بین ویژگی‌های دو تصویر وجود داشته باشد. بنابراین به راحتی می‌توان از آن برای ارزیابی مجموع واریانس دو تصویر خاص استفاده کرد. با استفاده از این ضریب می‌توان جهت ویژگی‌های مشابهت دو تصویر را فرض کرد. رابطه زیر این ضریب را معرفی کرده است.

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M W(i, j) \cdot \bar{W}(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M W(i, j)} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \bar{W}(i, j)}} \quad (8)$$

که W و \bar{W} معرف تصویر اصلی و تصویر شده است [۴۴].

۵- نتیجه و بحث

۵-۱- نتایج تجربی

این بخش نتیجه به دست آمده را با استفاده از روش‌های فشرده‌سازی تصویر پیشنهادی تشریح می‌کند. پردازنده مورد استفاده در این آزمایش یک پردازنده Intel core i5 است که با فرکانس ۲/۹۰

^۱ Image correlation coefficient



کاربردهای کوچک (گاهی اوقات جزئی)، که در آن از دست دادن وفاداری برای کاهش نرخ بیت قابل توجه است. برای ذخیره‌سازی تصاویر باید تا حد امکان از حجم اطلاعات کاسته شود و اساس تمامی روش‌های فشرده‌سازی حذف بخشی از اطلاعات و داده‌ها است. این نسبت فشرده‌سازی است که مقدار و درصد اطلاعات دور ریخته شده را تعیین می‌کند. این روش، ذخیره‌سازی و انتقال داده‌ها را ساده می‌کند و پهنای باند و فرکانس مورد نیاز را کاهش می‌دهد. MSE، PSNR و SSIM و همبستگی تصاویر ۴ معیار عملکردی هستند که برای نمونه تصاویر پزشکی استفاده شده‌اند.

همانطور که در جدول (۲) نشان داده شده، برای بهبود کیفیت تصاویر پس از فشرده‌سازی با روش‌های بدون تلفات یا کم تلفات، عملیات فشرده‌سازی با کمک شبکه عصبی بسیار مهم و قابل توجه است. با بررسی بیشتر و مقایسه مقادیر PSNR، MSE، CN و SSIM با کارهای دیگر، متوجه شدیم که روش تخمین پیکسل‌ها با کمک شبکه عصبی عمیق در مقابل نویز مقاوم بوده و شباهت بیشتری برای معیار SSIM در مقایسه با روش مدلسازی پلکانی ایجاد خواهد کرد؛ هر چند نسبت فشرده‌سازی کمتری را شامل می‌شود. بنابراین روش پلکانی در زمینه فشرده‌سازی عملکرد بهتری نسبت به روش تخمینی از خود نشان داده و از نظر کیفیت تصاویر بازگردانی شده روش تخمینی عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. بنابراین برای بررسی نتایج روش‌های خود جهت مقایسه با سایر مقالات، از یک میانگین‌گیری پارامتری برای روش‌ها و تصاویر مختلف بهره خواهیم برد. با توجه به نتایج روش ارائه شده در شکل (۱۵)، نمودار روش‌های عملکرد را برای فشرده‌سازی و تقویت نشان می‌دهد. پس از مقایسه روش‌های ارائه شده با روش‌های فشرده‌سازی تصویر، می‌توان تخمین زد که روش‌های ارائه شده از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار هستند.

جدول (۲): مقایسه نتایج معیارهای ارزیابی کار پیشنهادی

Ref.	Method	MSE	PSNR	CN	SSIM	Bit rates compression in bpp	Time (ms)
MRI1	Estimation technique	0.905	37.39	0.9992	0.9686	3.289	687
MRI2	Staircase technique	0.834	44.34	0.9938	0.9698	4.56	743
MRI3	Estimation technique	0.983	39.56	0.9956	0.9566	4.15	534
MRI4	Staircase technique	0.584	34.76	0.9999	0.9923	3.67	874
CT1	Staircase technique	0.477	41.97	0.9989	0.9565	1.63	436
CT2	Estimation technique	0.678	46.10	0.9921	0.9452	2.87	812
CT3	Staircase technique	0.443	31.56	0.9976	0.9634	3.65	943
CT4	Estimation technique	0.77	29.89	0.9985	0.9576	3.125	563
Average		0.7092	38.196	0.9970	0.9637	3.3680	699
[16]	--	--	--	--	--	3.87	--
[46]	--	--	36.11	--	0.92	2.87	4000
[20]	--	--	29.33	--	0.9634	4.4	1000
[45]	--	--	31.05	--	--	2.5	--

گیگاهرتز کار می‌کند و دارای ۸/۰۰ گیگابایت رم است. رویکرد پیشنهادی با استفاده از ابزار MATLAB بر روی پلتفرم ۶۴ بیتی ویندوز برای تصاویر مختلف پزشکی پیاده‌سازی شده است. برای مطالعه تجربی، تصاویر MRI و CT را در نظر گرفته‌ایم. در رویکرد پیشنهادی عملکرد را بر حسب زمان فشرده‌سازی و معیارهای مربوطه ارزیابی می‌کنیم. تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای در شکل (۱۴) با در نظر گرفتن تصویر مغز نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان دید که رویکرد پیشنهادی در مقایسه با رویکرد موجود، معیارهای ارزیابی بهتری را ارائه می‌دهند و از نسبت فشرده‌سازی خوبی برخوردار بوده است. زمان صرف شده توسط CPU بهبود می‌یابد، عملکرد کار پیشنهادی نیز از نظر BPP کاهش می‌یابد. مشکل کلیدی در فشرده‌سازی در عملکرد، پیچیدگی مساله است. با توجه به سیستم موجود رویکردهای پیشنهادی با سایر مقالات در جدول (۲) مقایسه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان مشاهده کرد که روش‌های مختلف این کار ما را در دستیابی به نتایج بهبود یافته کمک می‌کند.

۵-۲- بحث

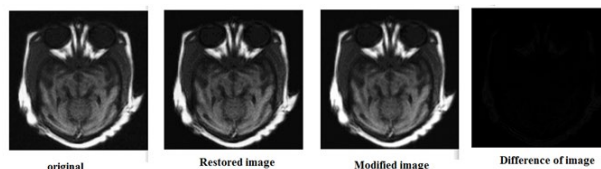
تصویر برای ذخیره یا انتقال اطلاعات به شکل بهینه فشرده می‌شود. فشرده‌سازی تصویر را می‌توان بدون تلفات و تلفات کامل انجام داد. فشرده‌سازی بدون اتلاف گاهی برای برخی از تصاویر، مانند نقشه‌های فنی و نمادها ترجیح داده می‌شود، روش‌های فشرده‌سازی با تلفات بالا کیفیت تصویر را به خطر می‌اندازند؛ مگر زمانی که نرخ بیت پایین در اولویت استفاده شوند. روش‌های فشرده‌سازی بدون تلفات نیز ممکن است برای محتوای ارزشمند، مانند عکس‌های پزشکی یا عکس‌های اسکن شده برای اهداف بایگانی ترجیح داده شوند. روش تکثیر به ویژه برای عکس‌های طبیعی مناسب است، مانند عکس‌هایی برای



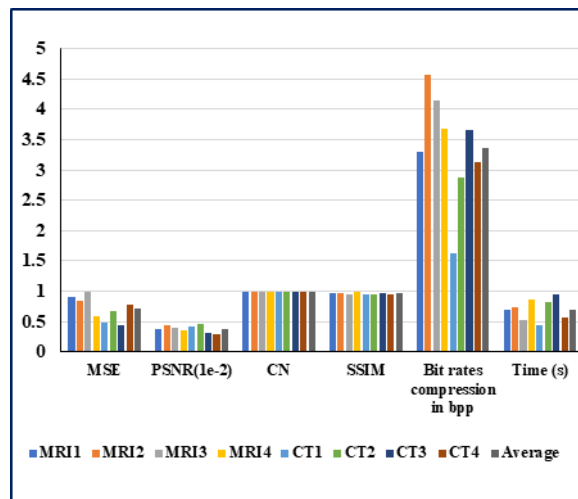
مطلوب و تخمین قابل قبول از پیکسل‌های حذف شده در کمترین زمان ممکن توانسته‌ایم به یک بازسازی تصاویر با دقت بالا و کیفیت مطلوب دست یابیم. برای ادامه این تحقیق در آینده سعی خواهیم کرد یک الگوی تخمینی از پیکسل‌های مختلف در پنجره‌های متفاوت با کمک استخراج ویژگی‌های هر پنجره با کمک سیستم‌های یادگیری عمیق ایجاد کنیم و براساس این ویژگی‌های استخراج شده تصاویر مختلف بازسازی و بازگردانی شوند.

مراجع

- [1] M.-A. Moreno-Ibarra, Y. Villuendas-Rey, M. D. Lytras, C. Yáñez-Márquez, and J.-C. Salgado-Ramírez, "Classification of diseases using machine learning algorithms: A comparative study," *Mathematics*, vol. 9, p. 1817, 2021.
- [2] H. P. Chan, L. M. Hadjiiski, and R. K. Samala, "Computer-aided diagnosis in the era of deep learning," *Medical physics*, vol. 47, pp. e218-e227, 2020.
- [3] W. Mbarki, M. Bouchouicha, S. Frizzi, F. Tshibusu, L. B. Farhat, and M. Sayadi, "Lumbar spine discs classification based on deep convolutional neural networks using axial view MRI," *Interdisciplinary Neurosurgery*, vol. 22, p. 100837, 2020.
- [4] J. Martinez-Mas, A. Bueno-Crespo, R. Martinez-Espana, M. Remezal-Solano, A. Ortiz-Gonzalez, S. Ortiz-Reina, et al., "Classifying Papanicolaou cervical smears through a cell merger approach by deep learning technique," *Expert Systems with Applications*, vol. 160, p. 113707, 2020.
- [5] H. Zhou, K. Wang, and J. Tian, "Online transfer learning for differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules with ultrasound images," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 67, pp. 2773-2780, 2020.
- [6] F. Liu, M. Hernandez-Cabronero, V. Sanchez, M. W. Marcellin, and A. Bilgin, "The current role of image compression standards in medical imaging," *Information*, vol. 8, p. 131, 2017.
- [7] J. Huang, S. Zhang, and D. Metaxas, "Efficient MR image reconstruction for compressed MR imaging," *Medical Image Analysis*, vol. 15, pp. 670-679, 2011.
- [8] J. C. Salgado-Ramírez, J. M. Vianney Kinani, E. A. Cendejas-Castro, A. J. Rosales-Silva, E. Ramos-Díaz, and J. L. Díaz-de-Léon-Santiago, "New model of heteroassociative min memory robust to acquisition noise," *Mathematics*, vol. 10, p. 148, 2022.
- [9] A. Benou, R. Veksler, A. Friedman, and T. R. Raviv, "Ensemble of expert deep neural networks for spatio-temporal denoising of contrast-enhanced MRI sequences," *Medical image analysis*, vol. 42, pp. 145-159, 2017.
- [10] K.-H. Thung, P.-T. Yap, E. Adeli, S.-W. Lee, D. Shen, and A. S. D. N. Initiative, "Conversion and time-to-conversion predictions of mild cognitive impairment using low-rank affinity pursuit denoising and matrix completion," *Medical image analysis*, vol. 45, pp. 68-82, 2018.
- [11] E. Agustsson, M. Tschannen, F. Mentzer, R. Timofte, and L. V. Gool, "Generative adversarial networks for extreme learned image compression," in *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 2019, pp. 221-231.
- [12] M. Li, W. Zuo, S. Gu, D. Zhao, and D. Zhang, "Learning convolutional networks for content-weighted image compression," in *Proceedings of the IEEE conference on*



شکل (۱۴): نتایج بازسازی تصاویر پزشکی اصلی و اختلاف آنها برای چند نمونه مختلف



شکل (۱۵): نمایش نمودار میله‌ای تصاویر مختلف

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک رویکرد جدید برای فشرده‌سازی و بازسازی تصاویر پزشکی CT و MRI پیشنهاد شد. روش فشرده‌سازی پیشنهادی با دو روش ترکیبی شبکه‌های عصبی عمیق با رمزنگاری هافمن آبخاری ارائه می‌شود. این روش‌ها شامل مدل‌سازی پلکانی تصاویر خاکستری پزشکی و تخمین گرهای پیکسل‌ها از روی پیکسل‌های همسایه می‌باشد. سپس از یک رویکرد بازسازی با کمک فیلترینگ مکانی بهینه شده برای تصاویر رمزگشایی شده بهره برده شد. ابتدا برای یک تصویر معین، یک تابع هدف بر روی مسئله بهبود تصویر فرموله می‌شود، برای حل آن از همگرایی الگوریتم‌های فراباکتاری GWO و WHO استفاده شد. یک راه‌حل سراسری برای این فرآیند به دست آمد و سپس ضرایب فیلتر برای افزایش مشابهت تصاویر استخراج شده با تصاویر اصلی محاسبه شد. پیچیدگی با معرفی همگرایی برای مسئله داده شده بررسی شد و بعد از محاسبه ضرایب تنها به یک فیلترینگ مکانی برای تصاویر دیگر بسنده شد. عملکرد روش‌های پیشنهادی از نظر PSNR، SSIM، CN، MSE و زمان صرف شده برای انجام فشرده‌سازی و بازسازی به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش‌های ارائه شده توانسته با کمترین پیچیدگی و تاخیر محاسباتی، عملیات فشرده‌سازی با نسبت فشرده‌سازی خوبی را انجام دهند. همچنین با محاسبه معیارهای ارزیابی مختلف تصاویر پزشکی این روش‌ها توانسته است نتایج بسیار خوبی در مقایسه کارهای دیگر داشته باشند. علاوه بر این، در این پژوهش ضمن دستیابی به یک محدوده فشرده‌سازی



- [28] G. Xin and P. Fan, "A lossless compression method for multi-component medical images based on big data mining," *Scientific Reports*, vol. 11, p. 12372, 2021.
- [29] A. Nasif, Z. A. Othman, and N. S. Sani, "The deep learning solutions on lossless compression methods for alleviating data load on IoT nodes in smart cities," *Sensors*, vol. 21, p. 4223, 2021.
- [30] O. H. Nagoor, J. Whittle, J. Deng, B. Mora, and M. W. Jones, "Sampling strategies for learning-based 3D medical image compression," *Machine Learning with Applications*, vol. 8, p. 100273, 2022.
- [31] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, A. Lewis, and G. W. Optimizer, "Advances in engineering software," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 46-61, 2014.
- [32] I. Naruei and F. Keynia, "Wild horse optimizer: A new meta-heuristic algorithm for solving engineering optimization problems," *Engineering with computers*, vol. 38, pp. 3025-3056, 2022.
- [33] D. A. Huffman, "A method for the construction of minimum-redundancy codes," *Proceedings of the IRE*, vol. 40, pp. 1098-1101, 1952.
- [34] B. O'Hanen and M. Wisan, "JPEG Compression'," ed: Citeseer, 2005.
- [35] P. Kaur, "Compression using fractional Fourier transform," a thesis submitted in the partial fulfillment of requirement for the award of the degree of master of engineering in electronics and communication Deemed University, 2010.
- [36] A. Odat, M. Otair, and M. Al-Khalayleh, "Comparative study between LM-DH technique and Huffman coding," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, pp. 36004-36011, 2015.
- [37] J. Schmidhuber, "Deep learning in neural networks: An overview," *Neural networks*, vol. 61, pp. 85-117, 2015.
- [38] J.-T. Chien, "Chapter 7 - Deep Neural Network," in *Source Separation and Machine Learning*, J.-T. Chien, Ed., ed: Academic Press, 2019, pp. 259-320.
- [39] C. Cardenas, A. Mohamed, G. Sharp, M. Gooding, H. Veeraraghavan, and J. Yang, "Data from AAPM RT-MAC grand challenge 2019," *The Cancer Imaging Archive*, 2019.
- [40] C. E. Cardenas, A. S. Mohamed, J. Yang, M. Gooding, H. Veeraraghavan, J. Kalpathy-Cramer, et al., "Head and neck cancer patient images for determining auto-segmentation accuracy in T2-weighted magnetic resonance imaging through expert manual segmentations," *Medical physics*, vol. 47, pp. 2317-2322, 2020.
- [41] S. G. Jafarzadeh, M. N. A. Rahman, and D. A. Wahab, "Optimization of supply chain management based on response surface methodology: A case study of iran khodro," *World Applied Sciences Journal*, vol. 20, pp. 620-627, 2012.
- [42] A. Deshpande, V. V. Estrela, and N. Razmjoooy, *Computational Intelligence Methods for Super-Resolution in Image Processing Applications*: Springer, 2021.
- [43] A. G. M. Strollo, E. Napoli, D. De Caro, N. Petra, and G. Di Meo, "Comparison and extension of approximate 4-2 compressors for low-power approximate multipliers," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 67, pp. 3021-3034, 2020.
- [44] H. E.-d. H. Ahmed, H. M. Kalash, and O. S. Farag Allah, "Encryption quality analysis of the RC5 block cipher algorithm for digital images," *Optical Engineering*, vol. 45, pp. 107003-107003-7, 2006.
- computer vision and pattern recognition, 2018, pp. 3214-3223.
- [13] N. Johnston, D. Vincent, D. Minnen, M. Covell, S. Singh, T. Chinen, et al., "Improved lossy image compression with priming and spatially adaptive bit rates for recurrent networks," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2018, pp. 4385-4393.
- [14] S. Santurkar, D. Budden, and N. Shavit, "Generative compression," in *2018 Picture Coding Symposium (PCS)*, 2018, pp. 258-262.
- [15] E. Agustsson, M. Tschannen, F. Mentzer, R. Timofte, and L. V. Gool, "Generative adversarial networks for extreme learned image compression," in *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 2019, pp. 221-231.
- [16] S. M. Belgaonkar and V. Singh, "Image compression and reconstruction in compressive sensing paradigm," *Global Transitions Proceedings*, vol. 3, pp. 220-224, 2022.
- [17] Y. Pourasad and F. Cavallaro, "A novel image processing approach to enhancement and compression of X-ray images," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, p. 6724, 2021.
- [18] J. Luo, J. Wu, S. Zhao, L. Wang, and T. Xu, "Lossless compression for hyperspectral image using deep recurrent neural networks," *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, vol. 10, pp. 2619-2629, 2019.
- [19] H. Zhang, F. Cricri, H. R. Tavakoli, N. Zou, E. Aksu, and M. M. Hannuksela, "Lossless image compression using a multi-scale progressive statistical model," in *Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision*, 2020.
- [20] D. Mishra, S. K. Singh, and R. K. Singh, "Lossy medical image compression using residual learning-based dual autoencoder model," in *2020 IEEE 7th Uttar Pradesh section international conference on electrical, electronics and computer engineering (UPCON)*, 2020, pp. 1-5.
- [21] J. Azar, A. Makhoul, R. Couturier, and J. Demerjian, "Robust IoT time series classification with data compression and deep learning," *Neurocomputing*, vol. 398, pp. 222-234, 2020.
- [22] Z. Cheng, H. Sun, M. Takeuchi, and J. Katto, "Learned lossless image compression with a hyperprior and discretized gaussian mixture likelihoods," in *ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2020, pp. 2158-2162.
- [23] Z. Ma, H. Zhu, Z. He, Y. Lu, and F. Song, "Deep Lossless Compression Algorithm Based on Arithmetic Coding for Power Data," *Sensors*, vol. 22, p. 5331, 2022.
- [24] H. Fu, F. Liang, B. Lei, N. Bian, Q. Zhang, M. Akbari, et al., "Improved hybrid layered image compression using deep learning and traditional codecs," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 82, p. 115774, 2020.
- [25] H. Rhee, Y. I. Jang, S. Kim, and N. I. Cho, "Lossless image compression by joint prediction of pixel and context using duplex neural networks," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 86632-86645, 2021.
- [26] T. Malach, S. Greenberg, and M. Haiut, "Hardware-based real-time deep neural network lossless weights compression," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 205051-205060, 2020.
- [27] O. H. Nagoor, J. Whittle, J. Deng, B. Mora, and M. W. Jones, "Lossless compression for volumetric medical images using deep neural network with local sampling," in *2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2020, pp. 2815-2819.



- [45] S. M. Belgaonkar and V. Singh, "Image compression and reconstruction in compressive sensing paradigm," *Global Transitions Proceedings*, vol. 3, pp. 220-224, 2022.
- [46] W. Al-Haidri, I. Matveev, M. A. Al-Antari, and M. Zubkov, "A Deep Learning Framework for Cardiac MR Under-Sampled Image Reconstruction with a Hybrid Spatial and k-Space Loss Function," *Diagnostics*, vol. 13, p. 1120, 2023.





Islamic Azad University, Shiraz Branch

نشریه تحلیل مدارها، داده‌ها و سامانه‌ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis

sanad.iaun.ir/journal/jcdsa



برآورد تلفیقی احتمالات تأثیر برای مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر در شبکه‌های اجتماعی و کاربرد آن در صنعت برق

سهامه محمدی^۱، محمد حسین ندیمی شهرکی^{۲*}، زهرا بهشتی^۳، کامران زمانی‌فر^۴

۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
مرکز تحقیقات کلان داده، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
mohamadi_sohameh@sco.iaun.ac.ir

۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
مرکز تحقیقات کلان داده، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
nadimi@iaun.ac.ir

۳- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
مرکز تحقیقات کلان داده، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
z-beheshti@iaun.ac.ir

۴- دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
zamanifar@eng.ui.ac.ir

چکیده: امروزه شبکه‌های اجتماعی آنلاین ارتباط ناگسستنی با زندگی روزمره بسیاری از مردم جهان دارند. کاربرد شبکه‌های اجتماعی در کسب و کارها جهت تبلیغات، بازاریابی، سیستم‌های پیشنهاد دهنده و همچنین در سیستم‌های مدیریت مصرف منابع و انرژی رو به افزایش می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح شده در رابطه با فرایند انتشار اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی، مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر می‌باشد. در سال‌های اخیر، تحقیق‌هایی برای بهبود کیفیت پیش‌بینی مدل‌های انتشار اطلاعات در این مسأله انجام شده است. طی بررسی‌های انجام شده در مدل‌های موجود، تخمین احتمالات تأثیر کاربران بر روی یکدیگر به طور غیر واقعی محاسبه می‌شود. در این پژوهش با هدف بررسی و بهینه‌سازی فرایند گسترش تأثیر در شبکه‌های اجتماعی، روش جدیدی برای تعیین احتمالات تأثیر در میان کاربران پیشنهاد شده است. این روش تلفیقی از دو رویکرد اصلی محاسبه احتمالات تأثیر شامل بهره‌گیری از جدول لاگ فعالیت و روش یکنواخت مقدار از پیش تعیین شده است. عملکرد روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده‌های مختلفی از شبکه‌های اجتماعی دنیای واقعی با روش‌های رقیب مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان می‌دهد روش پیشنهادی می‌تواند باعث افزایش کارایی پیش‌بینی‌های مورد نظر جهت حل مسائل بیشینه‌سازی گسترش تأثیر گردد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های اجتماعی، بیشینه‌سازی تأثیر، مدل‌سازی انتشار اطلاعات، احتمالات تأثیر

Combined Estimating Influence Probabilities for an Influence Maximization Problem in Social Networks and Its Application in the Power Industry

Sohameh Mohammadi¹, Mohammad H. Nadimi-Shahraki^{2*}, Zahra Beheshti³, Kamran Zamanifar⁴

¹ Department of Computer Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
Big Data Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
mohamadi_sohameh@sco.iaun.ac.ir

² Department of Computer Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
Big Data Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
nadimi@iaun.ac.ir

* نویسنده مسئول



Abstract:

Nowadays, online social networks have an inseparable connection with the daily life of many people in the world. The applications of social networks are increasing in businesses for advertising, marketing, and recommender systems, as well as in resource and energy consumption management systems. One of the most important problems in the information diffusion process of social networks is the influence maximization. In recent years, some research has been conducted to improve the prediction quality of information diffusion models in this problem. In a review of existing models, the influence probabilities among users are estimated unrealistically. In this research, a new method has been proposed to determine the influence probabilities among social network users. This method is a combination of two main approaches in the calculation of influence probabilities, including the use of an action log table and the uniform method with a predetermined value. The performance of the proposed method was evaluated and compared with competitive methods on different real-world social network data sets. The results of the experiments show that the proposed method can increase the efficiency of the predictions in solving the influence maximization problems.

Keywords: Social networks, influence maximization, information diffusion modeling, influence Probabilities

DOI: 00.00000/0000

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۰

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷

تحلیل شبکه‌های اجتماعی از جنبه‌های متنوعی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین حوزه‌های تحقیقاتی مختلفی در این زیرشاخه گسترش یافته است که از جمله می‌توان به گسترش تأثیر^۳ [۸]، تبلیغات و تحلیل بازار [۹]، پیش‌بینی ارتباط^۴ [۱۰] و تشخیص انجمن^۵ [۱۱] اشاره نمود. بهینه‌سازی گسترش تأثیر یکی از حوزه‌های تحقیقاتی مهم و در حال رشد در تحلیل شبکه‌های اجتماعی می‌باشد. در حوزه بهینه‌سازی گسترش تأثیر، ابتدا لازم است تعداد کاربران فعال شده اولیه که به عنوان مجموعه هسته^۶ نام‌گذاری می‌گردند در شروع فرایند گسترش انتشار تأثیر مشخص شوند. در ادامه فرایند، کاربران فعال این مجموعه بر کاربران دیگر شبکه تأثیر گذاشته و منجر به فعال شدن سایر کاربران و گسترش انتشار اطلاعات می‌گردند. در نهایت، گسترش مورد انتظار یا پوشش شبکه که نشان‌دهنده تعداد کاربران فعال شده مورد انتظار در انتهای فرایند گسترش تأثیر می‌باشد تعیین می‌شود [۱۲]. با توجه به کاربرد شبکه‌های اجتماعی می‌توان توابع هدف متفاوتی برای بهینه‌سازی گسترش تأثیر مشخص نمود. یکی از مهم‌ترین اهداف در بهینه‌سازی گسترش، پیدا کردن مجموعه هسته اولیه با یک بودجه محدود و تحت یک مدل انتشار اطلاعات^۷ معین می‌باشد به طوری که این مجموعه حداکثر گسترش یا پوشش مورد انتظار را در شبکه ایجاد نماید. این مسأله به عنوان بیشینه‌سازی گسترش تأثیر نام‌گذاری شده است [۶, ۱۳].

کاربردهای گوناگونی [۱۴, ۱۵] برای مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر در شبکه‌های اجتماعی می‌توان ارائه کرد. به عنوان نمونه از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ذکر کاربرد در صنعت برق کشور اشاره نمود.

۱- مقدمه

در حال حاضر، شبکه‌های اجتماعی آنلاین آنچنان نقش و جایگاه مهمی در جنبه‌های مختلف زندگی مردم پیدا کرده است که زندگی بدون آن‌ها دشوار است [۱]. یک شبکه اجتماعی، ساختاری متشکل از افراد یا شرکت‌ها و ارتباطات اجتماعی بین آن‌ها می‌باشد. بر اساس نوع شبکه، ارتباطات مختلف بین اعضای شبکه می‌تواند بیانگر رابطه‌های دوستی، همکاری، پیروی، ارتباط علمی، دشمنی، رقابت یا سایر موارد باشد [۲, ۳]. امروزه با فراگیر شدن و توسعه شبکه‌های اجتماعی، حجم بسیار کلانی از داده‌ها فراهم شده است که تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌تواند در شناخت خصوصیات شبکه‌های اجتماعی و اثرات آن‌ها بر روابط بین افراد و پاسخگویی به بسیاری از سؤال‌های آموزشی، اقتصادی، سیاسی، فرهنگی و اجتماعی کمک کننده باشد. پاسخگویی به این نوع سؤالات مستلزم پردازش مجموعه داده‌های شبکه‌های اجتماعی و استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و داده‌کاوی برای استخراج دانش و الگوهای پنهان از مجموعه داده‌ها می‌باشد [۴, ۵]. از اینرو در سال‌های اخیر تحلیل شبکه‌های اجتماعی به عنوان یک زیر شاخه از علم داده مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در تحلیل شبکه‌های اجتماعی برای نمایش هر شبکه از ساختار گراف استفاده می‌شود. در این گراف مجموعه گره‌ها^۱ نشان‌دهنده کاربران و مجموعه یال‌ها^۲ بیانگر ارتباطات بین آن‌ها می‌باشند [۶, ۷].

⁵ Community detection

⁶ Seed set

⁷ Information diffusion model

¹ Nodes

² Edges

³ Influence propagation

⁴ Link prediction



۲- ادبیات و پیشینه پژوهش

مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر، برای بهبود در عملکرد بازاریابی و ویروسی برای اولین بار توسط دومینگوس و ریچاردسون [۶، ۱۸] در بستر شبکه‌های اجتماعی مطرح گردید. هدف از حل این مسأله، تعیین یک زیرمجموعه کوچک از کاربران یک شبکه اجتماعی در شروع فرآیند انتشار اطلاعات است به نحوی که در شبکه، بیشترین میزان گسترش تأثیر منطبق بر اهداف بازاریابی ایجاد شود. لازم به ذکر است که اندازه مجموعه اولیه کاربران با توجه به محدودیت‌های بودجه تبلیغات کسب و کارها مقداری ثابت است که به صورت از پیش تعریف شده، به عنوان ورودی مسأله داده خواهد شد. در تحقیقات دومینگوس و ریچاردسون [۶، ۱۸] مدل‌سازی مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر، با استفاده از میدان تصادفی مارکوف انجام شده است. علی‌رغم اینکه روش ارائه شده توسط آن‌ها قادر به حل این مسأله و بالطبع افزایش قابل توجه سود کسب و کار در بازار هدف می‌باشد، اما در مدل‌سازی انجام شده نحوه تأثیرگذاری کاربران شبکه اجتماعی بر روی همدیگر و همچنین نحوه گسترش انتشار اطلاعات به وضوح تعیین نشده است.

مدل‌های انتشار اطلاعات به مدل‌سازی چگونگی انتشار تأثیر، اخبار و عقاید در بستر شبکه‌های اجتماعی می‌پردازد. در این مدل‌ها بررسی میزان تأثیر افراد منتخب جهت انتشار اطلاعات در جامعه ممکن می‌گردد [۱۹، ۲۰]. به طور کلی برای گسترش تأثیر، مدل‌های انتشار اطلاعات را می‌توان به دو نوع مدل‌های متقارن^۳ و پیش‌رونده^۴ طبقه‌بندی کرد. در هر دو طبقه، وضعیت هر کاربر در یک شبکه اجتماعی به صورت فعال به معنی پذیرش تأثیر و یا غیر فعال به معنی عدم پذیرش تأثیر در نظر گرفته می‌شود. در مدل‌های متقارن، فرض بر این است که اگر فردی تأثیر را پذیرفت، ممکن است این تأثیر در او پایدار نباشد، بنابراین کاربران شبکه می‌توانند از حالت غیرفعال به فعال و یا بر عکس تغییر حالت دهند. اما در مدل‌های پیش‌رونده، کاربران تنها می‌توانند از حالت غیر فعال به حالت فعال تغییر وضعیت دهند و این تأثیر در آن‌ها پایدار خواهد بود. در بیشتر کاربردهای دنیای واقعی مدل‌های پیش‌رونده برای تشریح نحوه انتشار اخبار گزینه مناسب‌تری هستند [۲۱، ۲۲]. لذا تمرکز این پژوهش بر روی مدل‌های انتشار پیش‌رونده می‌باشد. در ادامه به معرفی تعدادی از مدل‌های انتشار مطرح برای مدل کردن فرایند پخش اطلاعات می‌پردازیم.

اولین تعریف رسمی از مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر در یک شبکه اجتماعی توسط کمپ و همکاران [۱۹] به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی گسسته و بر مبنای مدل‌های انتشار اطلاعات ارائه شد. همچنین آن‌ها اثبات نمودند که مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر در حالت کلی جزء مسائل NP-hard^۵ می‌باشد. یکی از معروف‌ترین مدل‌های انتشار اطلاعات، مدل آبشاری مستقل^۶ است که توسط کمپ

این صنعت در ماه‌های گرم سالیان اخیر با چالش مصرف زیاد برق توسط مشترکین خانگی و تجاری مواجه بوده که منجر به قطعی‌های گسترده برق یا کاهش زمان کار ادارات و کارخانجات گردیده است. شرکت برق در راستای فرهنگ‌سازی و جلب مشارکت شهروندان در مدیریت مصرف برق می‌تواند از ظرفیت‌های فضای مجازی و روش‌های نوینی مانند بازاریابی و ویروسی^۱ در بستر شبکه‌های اجتماعی استفاده کند. در این روش، اطلاع رسانی اصول صحیح بهره‌وری انرژی بر اساس گروهی منتخب از مشتریان در یک شبکه اجتماعی که بیشترین تأثیر در انتشار اطلاعاتیها و فرهنگ‌سازی مصرف برق را داشته باشند تکیه خواهد داشت. در این راستا یک فرد پس از دریافت آموزش‌های لازم، از طریق ارتباطات شبکه‌ای، تجربیات خود در این زمینه را با سایر دوستان به اشتراک می‌گذارد. با توجه به اینکه یکی از عوامل مهم تأثیرگذار در نگرش افراد جهت رعایت اصول صحیح بهره‌وری انرژی، دریافت توصیه از دوستان مورد اعتماد است؛ لذا این روش کارایی و اثرگذاری بالایی در کاهش هزینه‌ها و توسعه فرهنگ مصرف صحیح انرژی برق در میان آحاد جامعه خواهد داشت. با وجود اینکه این روش در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از شرکت‌های خدماتی در سطح بین‌المللی قرار گرفته [۱۶، ۱۷]، اما متأسفانه در کشور ما به دلیل عدم آشنایی به‌طور مناسب به‌کار گرفته نشده است. در این مقاله به ارائه روشی نوین در جهت بهبود عملکرد مدل‌های کاربردی انتشار اطلاعات برای بیشینه‌سازی گسترش تأثیر پرداخته می‌شود.

یکی از پارامترهای مهم و بنیادی در مدل‌سازی فرایند انتشار اطلاعات، احتمال تأثیر^۲ یک کاربر بر روی کاربر دیگر می‌باشد. طی بررسی‌های انجام شده در مدل‌های انتشار اطلاعات موجود، تخمین احتمالات تأثیر کاربران بر روی یکدیگر به‌طور غیر واقعی محاسبه می‌گردد. در این پژوهش به منظور سازگار نمودن رابطه‌های محاسبه احتمالات تأثیر با کاربردهای دنیای واقعی، روش جدیدی برای تعیین احتمالات تأثیر در میان کاربران شبکه اجتماعی ارائه شده است. این روش تلفیقی از دو رویکرد اصلی محاسبه احتمالات تأثیر است. در رویکرد اول به دلیل نبود دانش و اطلاعات لازم در شبکه، کلیه احتمالات تأثیر برابر با مقداری از پیش مشخص شده به‌طور یکنواخت در نظر گرفته می‌شوند؛ در حالی که در رویکرد دوم، با وجود دانش و اطلاعات لازم در شبکه و با بهره‌گیری از جدولی موسوم به لاگ فعالیت، فرایند یادگیری احتمالات تأثیر میان کاربران محاسبه می‌شود.

در ادامه ساختار مقاله بدین شرح تنظیم شده است. در بخش ۲ به مرور ادبیات و پیشینه پژوهش پرداخته شده است. در بخش ۳ روش پیشنهادی با جزئیات ارائه شده است. سپس در بخش ۴ روش پیشنهادی از طریق طراحی آزمایشات مختلف و پیاده‌سازی آن‌ها بر روی شبکه‌های اجتماعی دنیای واقعی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. در نهایت بخش ۵ به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

⁴ Progressive

⁵ NP-hard

⁶ Independent Cascade (IC) Model

¹ Viral marketing

² Influence probability

³ Symmetric



و همکاران [۱۹] ارائه گردید. در این مدل، کاربران در یکی از دو حالت فعال یا غیر فعال قرار دارند. همچنین به هر کاربر فعال، احتمالی برای فعال کردن هر یک از همسایه‌های غیرفعال اختصاص داده می‌شود. اگر کاربر u یکی از همسایگان غیرفعال کاربر w باشد، احتمال موفقیت کاربر w در فعالسازی u با $P_{w,u}$ نشان داده می‌شود. در مدل آبخاری مستقل، فعال شدن یک کاربر غیرفعال، مستقل از فعالیتهای گذشته دیگر کاربران فعال بر روی این کاربر می‌باشد. فرایند انتشار تأثیر با فعال کردن مجموعه اولیه از کاربران آغاز می‌شود. وقتی که کاربر w در گام زمانی گسسته t فعال می‌شود، آنگاه برای فعال کردن هر همسایه غیرفعال خود یک فرصت خواهد داشت. اگر چند کاربر فعال به طور همزمان بخواهند کاربر u را فعال کنند، یک جایگشت تصادفی از آن‌ها انتخاب و بر اساس این جایگشت فرایند فعالسازی انجام می‌شود. مدل حد آستانه خطی^۱ [۱۹]، یکی دیگر از مدل‌های انتشار اطلاعات معروف و پایه‌ای است که در آن کاربران در یکی از دو حالت فعال یا غیر فعال قرار دارند. هر کاربر غیرفعال u از هر کاربر همسایه خود w به مقدار وزن $b_{u,w}$ تأثیر می‌گیرد مشروط به آنکه فرمول زیر برقرار باشد:

$$\sum_{w \text{ neighbor of } u} b_{u,w} \leq 1 \quad (۱)$$

مجموع وزن تأثیری که همسایگان کاربر u باید رأی فعالسازی برای این کاربر اعمال کنند با مقدار حد آستانه θ_u نشان داده می‌شود. این حد آستانه به صورت تصادفی از توزیع یکنواخت پیوسته در بازه [۰، ۱] انتخاب می‌شود. در مدل حد آستانه خطی فرایند انتشار تأثیر بدین گونه شروع می‌شود که یک مجموعه اولیه از کاربران فعال انتخاب می‌شود در حالیکه مابقی کاربران شبکه غیرفعال می‌باشند. فرایند انتشار اطلاعات در گام‌های زمانی گسسته t انجام می‌شود که در هر گام کل کاربرانی که در گام زمانی قبلی فعال بوده‌اند فعال خواهند ماند و کاربرانی که مجموع وزنی تأثیر همسایگان فعال بر آن‌ها بیشتر از حد آستانه θ_u باشند به مجموعه کاربران فعال اضافه می‌شوند. با این توضیحات رابطه فعالسازی برای کاربر u عبارت است از:

$$\sum_{w \text{ active neighbor of } u} b_{u,w} \geq \theta_u \quad (۲)$$

مدل آبخاری عمومی^۲ [۱۹] مشابه آبخاری مستقل است با این تفاوت که در آن سابقه فعالیت‌های کاربران فعال دیگر بر یک کاربر غیرفعال نادیده گرفته نمی‌شود. اگر S مجموعه کاربران فعال با تلاش‌های ناموفق جهت فعالسازی کاربر u باشند آنگاه احتمال فعالسازی موفق u توسط کاربر فعال w برابر با تابع افزایشی $p_u(w, S)$ است. مدل آستانه عمومی^۳ [۱۹] تعمیمی از مدل حد آستانه خطی است. در مدل حد آستانه خطی، تابع فعالسازی برابر با مجموع وزن‌های تأثیر همسایگان فعال کاربر u در نظر گرفته شده است. در مدل حد آستانه عمومی، این تابع تأثیر به صورت کلی‌تر تعریف می‌شود. به عبارت دقیق‌تر فعال شدن کاربر u وابسته به یک

تابع تأثیر یکنواخت دلخواه $f_u(S)$ در بازه [۰، ۱] است که در آن S مجموعه همسایگان فعال u هستند. فرایند انتشار در مدل حد آستانه عمومی، مشابه مدل حد آستانه خطی است با این تفاوت که شرط فعالسازی به صورت $f_u(S) \geq \theta_u$ تعریف می‌گردد.

همانگونه که از مدل‌های معرفی شده تا به حال مشخص است احتمالات تأثیر نقش مهمی را در مدل‌سازی انتشار اطلاعات ایفا می‌کنند. پژوهشگران در مدل‌های فوق، فرض را بر این گذاشته‌اند که اطلاعات لازم برای مشخص کردن احتمالات تأثیر در اختیار نیست. بنابراین رویکرد آن‌ها در تعیین احتمالات تأثیر در نظر گرفتن مقادیر از پیش تعیین شده می‌باشد. به عنوان مثال، کمپ و همکاران برای مدل آبخاری مستقل [۱۹]، مقدار احتمالات تأثیر بین دو کاربر را مقادیر ثلث ۱/۱ تا ۱/۱۰ در نظر گرفتند. اما طیف قلیل توجهی از شبکه‌های اجتماعی وجود دارد که اطلاعات لازم برای یادگیری احتمالات تأثیر در میان کاربران شبکه ثبت شده است. در اینگونه موارد، عدم استفاده از این اطلاعات باعث کاهش دقت پیش‌بینی مدل‌های انتشار اطلاعات می‌گردد. از لینرو گویال و همکاران [۲۳] رویکرد دیگری را برای به‌دست آوردن احتمالات تأثیر بر مبنای لاگ فعالیت کاربران معرفی نمودند. بدین منظور، مدل انتشار اطلاعات مورد نظر آن‌ها حالتی از مدل حد آستانه عمومی است، که در آن تابع تأثیر برای هر کاربر u مبتنی بر احتمالات تأثیر همه کاربران فعال همسایه آن تعیین می‌شود. به صورت جزئی‌تر، فعالسازی کاربر u در صورتی که $p_u(S) \geq \theta_u$ باشد با موفقیت انجام می‌شود. در این رابطه، θ_u حد آستانه فعالسازی و $p_u(S) = 1 - \prod_{w \in S} (1 - p_{w,u})$ است که به صورت تصادفی در بازه [۰، ۱] انتخاب می‌گردد.

با توجه به رویکرد پیشنهاد شده توسط گویال و همکاران [۲۳]، پژوهش‌هایی به ارائه مدل‌های انتشار اطلاعاتی مبتنی بر یادگیری احتمالات تأثیر پرداخته‌اند. به عنوان نمونه، حسینی‌پژوه و همکاران [۲۴] مدل انتشار آبخاری آگاه از علامت با گره‌های مسدودشونده^۴ که در ادامه به طور خلاصه شده اس‌سی‌بی^۵ نامیده می‌شود، معرفی کردند. مدل انتشار اس‌سی‌بی تعمیم یافته، مدل آبخاری مستقل است و در طبقه مدل‌های پیش‌رونده قرار دارد. در این مدل، کاربران علاوه بر حالت‌های فعال و غیرفعال ممکن است در حالت مسدود قرار گیرند. کاربر مسدود، کاربری است که تأثیر را می‌پذیرد اما آن را به دیگر اعضای شبکه ارسال نمی‌کند. در این مدل، هنگامی که کاربر w فعال می‌گردد برای فعالسازی هر یک از همسایگان غیرفعال u خود یک فرصت خواهد داشت. اگر ارتباط مثبت با u داشته باشد، سعی می‌کند تا آن کاربر را فعال نماید. اما در صورت وجود ارتباط منفی w نسبت به u ، سعی می‌کند تا آن کاربر را مسدود نماید. اگر یک کاربر غیرفعال به طور همزمان توسط چند کاربر فعال برای فعال یا مسدود

⁴ Sign-aware cascade including blocking nodes

⁵ SC-B

¹ Linear threshold Model

² General Cascade Model

³ General threshold Model

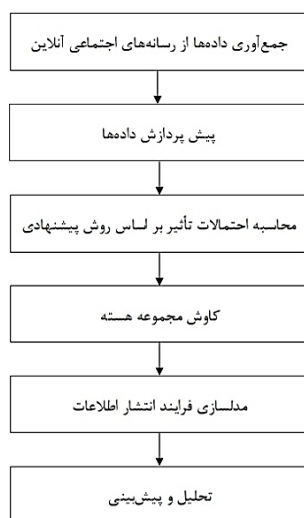


قبل از مراحل کاوش مجموعه هسته و مدل‌سازی فرایند انتشار اطلاعات قرار می‌گیرد.

در روش پیشنهادی، محاسبه احتمالات تأثیر برای ارتباطاتی در جدول لاگ فعالیت که اطلاعات کافی برای محاسبه احتمالات تأثیر وجود ندارد، مقدار ثلث از پیش تعیین شده (به عنوان احتمال تأثیر حداقلی) در نظر گرفته می‌شود. اما در حالتی که جدول لاگ فعالیت، اطلاعات کافی برای محاسبه احتمالات تأثیر در بر دارد از این اطلاعات به شرح زیر جهت تعیین احتمالات تأثیر استفاده می‌شود. در روش مبتنی بر جدول لاگ فعالیت، یادگیری احتمالات تأثیر بین کاربران با توجه به شبکه‌های اجتماعی معمولی^۱ یا شبکه‌های اجتماعی علامت‌دار^۲ محاسبه می‌شود. شبکه‌های اجتماعی معمولی تنها بر اساس روابط اعتماد پایه‌گذاری شده‌اند. یادگیری احتمال تأثیر برای مدل‌های انتشار منطبق بر این نوع از شبکه‌ها با استفاده از برآورد ماکسیمم درست‌نمایی در توزیع برنولی مطابق (۳) محاسبه می‌گردد [۲۳]:

$$p_{w,u} = \frac{N_{A_w u}}{N_{A_w}} \quad (3)$$

که صورت کسر، نشان دهنده تعداد عملیات‌هایی است که کاربر u با الهام گرفتن از کاربر w انجام داده و مخرج کسر برابر تعداد کل عملیات‌های انجام شده توسط کاربر w است. از آنجایی که شبکه‌های اجتماعی علامت‌دار دارای هر دو روابط اعتماد و عدم اعتماد است، از اینرو لازم است برای این مدل انتشار اطلاعات (منطبق بر آن‌ها)، دو نوع احتمال تأثیر مثبت و احتمال تأثیر منفی محاسبه گردد.



شکل (۱): مراحل حل مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر در شبکه‌های اجتماعی

جدول (۱): مشخصات آماری مجموعه داده‌ها

مشخصات	بیت‌کوین OTC	بیت‌کوین Alpha
تعداد گره‌ها	۳۷۸۳	۵۸۸۱
تعداد یال‌ها	۲۴۱۸۶	۳۵۵۹۲

شدن تحت تأثیر قرار گیرد، با انتخاب یک جایگشت تصادفی از این کاربران تأثیر به ترتیب اعمال می‌گردد.

اگرچه مدل‌های انتشار اطلاعات مختلفی برای بیشینه‌سازی گسترش تأثیر در شبکه‌های اجتماعی تعریف و تعمیم داده شده‌اند که به برخی از آن‌ها اشاره گردید، اما نحوه محاسبه احتمالات تأثیر بر عملکرد این مدل‌ها به شدت مؤثر است. دو رویکرد فعلی محاسبات احتمالات تأثیر از جمله عواملی است که باعث شده هنوز مدل‌های انتشار اطلاعات، دقت لازم را در پیش‌بینی‌های خود نداشته باشند. در بخش بعدی به ارائه روشی در تعیین احتمالات تأثیر جهت بهبود عملکرد مدل‌های انتشار اطلاعات پرداخته می‌شود.

۳- روش پیشنهادی

کلیه مدل‌های انتشار اطلاعات برای مدل‌سازی مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر در شبکه‌های اجتماعی بر اساس پارامتری کلیدی و پایه‌ای به نام احتمال تأثیر بنیاد نهاده شده‌اند. احتمال تأثیر میزان تأثیرگذاری یک کاربر شبکه بر کاربر دیگر را در صورت وجود ارتباط در فرایند گسترش تأثیر نشان می‌دهد. در واقع، برای شبکه‌های اجتماعی که در آن ارتباطات جهت‌دار هستند یک احتمال تأثیر تعریف می‌گردد. تاکنون تحقیق‌های قابل توجهی برای بهبود کیفیت پیش‌بینی مدل‌های انتشار اطلاعات در مسأله‌ی بیشینه‌سازی گسترش تأثیر انجام شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده در مدل‌های انتشار اطلاعات موجود، تخمین احتمالات تأثیر کاربران بر روی یکدیگر دقیق و درست انجام نشده است که این امر منجر به کاهش چشمگیر کیفیت پیش‌بینی مدل‌های انتشار می‌گردد. در این مدل‌ها تعیین احتمالات تأثیر بر مبنای دو رویکرد اصلی شامل عدم وجود اطلاعات [۱۹، ۲۱] یا وجود اطلاعات [۲۳، ۲۴] لازم در شبکه‌های اجتماعی صورت گرفته است. با توجه به رویکردهای ارائه شده همانگونه که مشخص است در صورتی که اطلاعات لازم از فعالیت کاربران شبکه‌های اجتماعی موجود باشد، استفاده از رویکرد اول باعث کاهش دقت در پیش‌بینی‌های انجام شده می‌گردد. از طرف دیگر در شبکه‌های بزرگ استفاده از اطلاعات جدول لاگ فعالیت باعث می‌گردد که تعداد قابل توجهی از احتمالات تأثیر بین کاربران مقداری ناچیز و نزدیک به صفر محاسبه گردد. بنابراین ارائه رویکرد جدیدی که در آن دو رویکرد قبلی با یکدیگر ترکیب می‌گردند باعث می‌شود که نقاط ضعف یکدیگر را برطرف و دقت پیش‌بینی به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یابد.

شکل (۱) حاکی از یک ساختار سلسله‌مراتبی است که به‌کارگیری روش پیشنهادی در حل یک مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر در شبکه‌های اجتماعی را نشان می‌دهد. همانگونه که در این ساختار مشاهده می‌شود، محاسبه احتمالات تأثیر بر اساس روش پیشنهادی بعد از مراحل جمع‌آوری و پیش‌پردازش داده‌های شبکه اجتماعی و

² Signed social networks (SSN)

¹ Typical social networks (TSN)



اطلاعات استفاده شده است. این مجموعه شامل ۸۰٪ ابتدایی قسمت نمرات ارزیابی کاربران از یکدیگر می‌باشد. علاوه بر این مجموعه داده آزمایش برای تعیین اینکه کدام یک از روش‌های مربوط به نحوه انتشار تأثیر در شبکه‌های اجتماعی نسبت به دیگری توانمندی بالاتری جهت پیش‌بینی کردن پذیرش تأثیر در بین کاربران را دارد. این مجموعه شامل ۲۰٪ پایانی قسمت نمرات مجموعه داده است. لازم به ذکر است که در محاسبات احتمالات تأثیر زمان ایجاد روابط در بین کاربران هم لحاظ گردیده است. به بیان دیگر، هنگام نمره‌دهی کاربران به یکدیگر در محاسبات لحاظ می‌شود که نمره‌دهی بعد از زمان تشکیل شدن اولین رابطه بین آن‌ها باشد و در غیر این صورت به کار برده نمی‌شود.

کلیه آزمایشات با انتخاب تصادفی مجموعه کاربران اولیه با اندازه‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱ و ۲۴ جهت شبیه‌سازی فرایند انتشار تأثیر در مدل‌های انتشار اطلاعات انجام می‌شود. علاوه بر این، پارامترهای θ_p ، θ_p^+ و θ_p^- مربوط به حدود آستانه احتمالات تأثیر مسئله برای هر دو شبکه Alpha و OTC در دو حالت شامل صفر یا برابر با ۰/۱ لحاظ شده است. در حالت اول، پارامترهای α^+ و α^- برای هر دو شبکه با احتمال تأثیر ۰/۱ تا احتمال تأثیر ۰/۰۷ با فواصل ۰/۰۲ در نظر گرفته شده که به ترتیب با نمادهای $P1$ تا $P4$ در ارزیابی روش پیشنهادی مشخص شده است. در حالت دوم احتمالات تأثیر مشمول با ۰/۱ جایگزین می‌گردند که با نماد $P5$ نشان داده شده است. هدف از شبیه‌سازی‌ها، پیش‌بینی رفتار آینده کاربران در مجموعه داده آزمایش می‌باشد. برای تحلیل نتایج و ارزیابی کارایی روش پیشنهادی از معیارهای دقت^۱، فراخوانی^۲ و امتیاز اف^۳ [۲۴] که سه معیار ارزیابی معروف در حوزه علم داده‌ها هستند، استفاده شده است. از آنجایی که مجموعه کاربران اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند، آزمایشات برای هر مجموعه کاربر اولیه ۱۰ بار تکرار می‌گردد. نتایج ارزیابی بر روی مجموعه داده‌های بیت‌کوین OTC و Alpha در جداول (۵-۲) نشان داده شده است. در شکل (۳) مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های پیشین بر اساس معیار ارزیابی میانگین امتیاز اف ارائه شده است. با توجه به این نتایج، در هر دو مدل انتشار اطلاعات آبخاری مستقل و مدل آبخاری آگاه از علامت با گره‌های مسدود شونده بدترین عملکرد در پیش‌بینی پذیرش تأثیر در میان کاربران بر مبنای هر سه معیار دقت، فراخوانی و امتیاز اف مربوط به روشی است که مقادیر احتمالات تأثیر تنها مبتنی بر لاگ فعالیت کاربران باشد. از طرفی این نتایج بیانگر آن است که در روش پیشنهادی برای ارتباطاتی در جدول لاگ فعالیت کاربران که اطلاعات لازم برای محاسبه احتمالات تأثیر وجود ندارد، اعمال مقدار ثابت احتمال تأثیر حداقلی به صورت کنترل شده و بر اساس نوع و کاربردهای خاص شبکه‌های اجتماعی دارای اهمیت قلیل توجهی است و موجب بهبود قدرت پیش‌بینی مدل‌های انتشار اطلاعات در شبکه اجتماعی می‌گردد.

در شبکه‌های اجتماعی علامت‌دار چنانچه رابطه بین دو کاربر بر پایه اعتماد باشد، احتمال تأثیر مثبت و در صورتی که روابط بین آن‌ها از نوع عدم اعتماد باشد، احتمال تأثیر منفی مطرح می‌گردند. این دو نوع احتمالات تأثیر، بر اساس (۴-۵) محاسبه می‌شوند [۲۵]:

$$p_{w,u}^+ = \frac{N_{A_{w,u}}}{N_{A_w}} \quad (4)$$

$$p_{w,u}^- = \frac{N'_{A_{w,u}}}{N_{A_w}} \quad (5)$$

که در (۵) صورت کسر، نشان‌دهنده تعداد عملیات‌هایی است که توسط کاربر w انجام شده، اما پس از آن توسط کاربر u دنبال نشده است. در شکل (۲) شبه‌کد مربوط به روش پیشنهادی ارائه شده است.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی

در این بخش به ارزیابی روش‌های موجود و پیشنهادی در تعیین احتمالات تأثیر پرداخته می‌شود. برای مقایسه، از مدل‌های مبتنی بر انتشار آبخاری شامل مدل آبخاری مستقل [۱۹] و مدل آبخاری آگاه از علامت با گره‌های مسدود شونده [۲۴] استفاده شده است. ارزیابی تمامی مدل‌های انتشار اطلاعات منطبق بر روش‌های موجود و پیشنهادی این مطالعه با زبان برنامه نویسی پایتون و با سیستم کامپیوتر شخصی با مشخصات پردازنده Intel Core i7- 3.4 GHz، حافظه موقت ۸ گیگابایت و سیستم عامل ویندوز ۱۰، ۶۴ بیتی پیاده‌سازی شده‌اند. برای ارزیابی‌ها از دو مجموعه داده شبکه اجتماعی واقعی بیت‌کوین OTC و بیت‌کوین Alpha [۲۶، ۲۷] استفاده شده است. این مجموعه داده‌ها، شبکه‌های اجتماعی علامت‌داری هستند که در پلتفرم تجزیه و تحلیل شبکه استفورد منتشر شده‌اند. این شبکه‌ها در برگزیده معاملات بیت‌کوین افرادی است که بر روی پلتفرم‌های بیت‌کوین OTC و Alpha انجام شده است. از آنجایی که کاربران بیت‌کوین ناشناس هستند، برای جلوگیری از تراکنش با کاربران متقلب و پرخطر، نیاز به حفظ سابقه شهرت کاربران وجود دارد. بدین منظور اعضای بیت‌کوین OTC و Alpha یکدیگر را با نمره‌ای از ۱۰- (بی‌اعتمادی کامل) تا ۱۰+ (اعتماد کامل) رتبه بندی می‌کنند. مشخصات آماری مربوط به مجموعه داده‌های این دو شبکه در جدول (۱) نشان شده است. با توجه به اینکه مدل آبخاری مستقل تنها بر اساس روابط اعتماد پایه‌گذاری شده، تنها روابطی که دارای نمرات مثبت هستند لحاظ می‌گردند و روابط عدم اعتماد در این مجموعه داده‌ها نادیده گرفته می‌شوند.

به منظور انجام فرایند ارزیابی، لاگ فعالیت کاربران در هر مجموعه داده شبکه‌های اجتماعی بر اساس اولویت زمانی به دو قسمت مجموعه آموزش و مجموعه آزمایش تقسیم می‌گردد. از مجموعه داده آموزش جهت یادگیری احتمالات تأثیر بین کاربران در مدل‌های انتشار

³ F-score

¹ Precision

² Recall



۵- نتیجه‌گیری

آبشاری مستقل و آبشاری آگاه از علامت با گره‌های مسدود شونده انجام شد. به این منظور از دو مجموعه داده شبکه اجتماعی واقعی گردآوری شده بر روی پلتفرم بیت‌کوین استفاده شد. مقایسه نتایج با استفاده از سه معیار دقت، فراخوانی و امتیاز اف صورت گرفته است. بدترین عملکرد در پیش‌بینی پذیرش تأثیر در میان کاربران مربوط به رویکرد تعیین احتمالات تأثیر تنها بر اساس لاگ فعالیت کاربران است. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد که رویکرد جدید مبنی بر اینکه برای ارتباطاتی که در جدول لاگ فعالیت دانش و اطلاعات لازم برای محاسبه احتمالات تأثیر وجود ندارد، چنانچه به صورت کنترل شده مقداری ثلث حدقلی به عنوان احتمالات تأثیر جایگزین گردد، موجب بهبود کیفیت پیش‌بینی مدل‌های انتشار اطلاعات در شبکه می‌گردد. جهت مطالعات آینده، از دیدگاه کاربردی، می‌توان با فاصله گرفتن از روش‌های سنتی اطلاع‌رسانی، روش پیشنهادی را در بیشینه‌سازی گسترش تأثیر پیام‌های اطلاع‌رسانی شرکت برق در شبکه‌های اجتماعی جهت اصلاح الگوی مصرف برق در فصول گرم سال پیاده‌سازی نمود. این کار نه تنها موجب اصلاح الگوی مصرف برق بین مردم و بالطبع کاهش قطعی‌های برق خواهد شد بلکه با توجه به نقش حیاتی برق در صنعت کشور منجر به رونق کسب و کار و بهبود شاخص‌های اقتصادی کشور می‌گردد.

در این پژوهش برای بهبود کیفیت پیش‌بینی‌های مدل‌های انتشار اطلاعات در مسأله بیشینه‌سازی گسترش تأثیر، روش جدیدی جهت تعیین احتمالات تأثیر در میان کاربران شبکه اجتماعی ارائه شد. روش جدید حاصل ترکیب دو رویکرد اصلی در محاسبه احتمالات تأثیر است. رویکرد اول با نبود دانش لازم در شبکه، احتمالات تأثیر را برابر با مقداری از پیش تعیین شده و برابر در نظر می‌گیرد، در حالیکه در رویکرد دوم، با وجود دانش لازم در شبکه و با بهره‌گیری از جدول لاگ فعالیت فرایند یادگیری احتمالات تأثیر میان کاربران محاسبه می‌شود. با توجه به رویکردهای ارائه شده همانگونه که مشخص است چنانچه اطلاعات فعالیت کاربران شبکه‌های اجتماعی موجود باشد، استفاده از رویکرد اول منجر به کاهش دقت در پیش‌بینی‌های انجام شده می‌گردد. از طرف دیگر با به کارگیری رویکرد دوم، مشاهده می‌شود که در مجموعه داده‌های مختلف بسیاری از احتمالات تأثیر جفت کاربران به دلیل نبود ارتباط و آشنایی بین آن‌ها مقداری ناچیز و نزدیک صفر به دست می‌آید. لذا با توجه به محدودیت‌های مذکور، ترکیب دو رویکرد می‌تواند باعث بهبود قابل توجهی در دقت پیش‌بینی‌ها گردد. برای بررسی صحت این موضوع، مجموعه‌ای از آزمایشات بر روی دو مدل انتشار اطلاعات معروف و پرکاربرد در ادبیات تحقیق یعنی مدل‌های

Algorithm 1: The proposed method to estimate the influence probabilities

Input: $G(V, E)$ (a social network directed graph G where V represents a set of users and E represents a set of edges among them); L (users' action log); Network Type (TSN, SSN); θ_p^+ , θ_p^- and θ_p (the acceptable minimum thresholds for the influence probabilities); α^+ , α^- and α (the predetermined minimum values for the influence probabilities)
Output: $G(V, E, P)$ (the graph G where the influence probabilities P among all users are determined)

1. **Begin**
2. Generate a time sequence table TST from users' action log L
3. **If** Network Type = "TSN" **then**
4. **For** each edge (w, u) in E
5. Calculate action patterns A_w and $A_{w,v}$ for each user pair that is in TST
6. Calculate the influence probability $P_{w,v}$ by using Eq. (3)
7. **If** $P_{w,v} \leq \theta_p$ **then**
8. $P_{w,v} = \alpha$
9. **End if**
10. **End for**
11. **Else**
12. **For** each edge (w, u) in E
13. Calculate action patterns A_w , $A_{w,v}$ and $A'_{w,u}$ for each user pair that is in TST
14. **If** there exists trust relationship between the users w and u **then**
15. Calculate the positive influence probability $p_{w,v}^+$ by using Eq. (4)
16. **If** $p_{w,v}^+ \leq \theta_p^+$ **then**
17. $p_{w,v}^+ = \alpha^+$
18. **End if**
19. **else**
20. Calculate the negative influence probability $p_{w,v}^-$ by using Eq. (5)
21. **If** $p_{w,v}^- \leq \theta_p^-$ **then**
22. $p_{w,v}^- = \alpha^-$
23. **End if**
24. **End if**
25. **End for**
26. **End if**
27. **Return** $G(V, E, P)$
28. **End**

شکل (۲): شبه کد روش پیشنهادی جهت برآورد احتمالات تأثیر



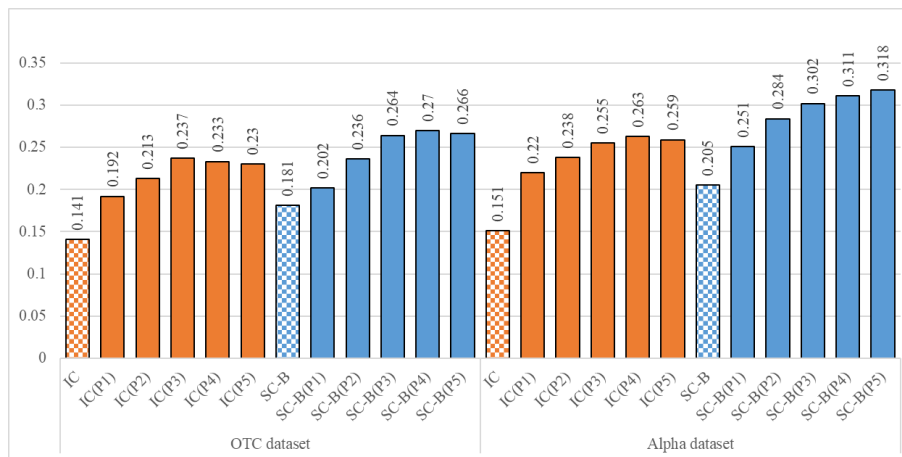
جدول (۴): مقایسه مدل انتشار SC-B با احتمالات تأثیر متفاوت در مجموعه داده OTC

معیار		دقت						فراخوانی						امتیاز اِف					
#کاربر	شاخص	SC-B	SC-B (P1)	SC-B (P2)	SC-B (P3)	SC-B (P4)	SC-B (P5)	SC-B	SC-B (P1)	SC-B (P2)	SC-B (P3)	SC-B (P4)	SC-B (P5)	SC-B	SC-B (P1)	SC-B (P2)	SC-B (P3)	SC-B (P4)	SC-B (P5)
۳	Avg	۰.۰۲۶	۰.۰۳۵	۰.۰۵۱	۰.۰۵۱	۰.۰۵۷	۰.۰۵۴	۰.۰۷۷	۰.۱۱۰	۰.۲۳۳	۰.۳۲۰	۰.۴۵۵	۰.۵۵۵	۰.۰۳۹	۰.۰۵۳	۰.۰۸۴	۰.۰۸۸	۰.۱۰۱	۰.۰۹۸
	Max	۰.۰۶۲	۰.۰۷۷	۰.۰۹۷	۰.۰۹۹	۰.۱۰۶	۰.۱۲۱	۰.۳۳۳	۰.۲۲۲	۰.۳۲۴	۰.۴۱۲	۰.۵۶۰	۰.۶۶۷	۰.۱۰۵	۰.۱۱۴	۰.۱۴۹	۰.۱۶۰	۰.۱۷۸	۰.۲۰۵
۶	Avg	۰.۱۰۶	۰.۱۲۴	۰.۱۴۱	۰.۱۴۷	۰.۱۴۳	۰.۱۲۸	۰.۱۲۲	۰.۱۸۸	۰.۲۸۸	۰.۳۶۷	۰.۴۵۱	۰.۵۲۸	۰.۱۱۳	۰.۱۴۹	۰.۱۸۹	۰.۲۱۰	۰.۲۱۷	۰.۲۰۶
	Max	۰.۲۷۲	۰.۲۸۴	۰.۲۸۸	۰.۳۲۰	۰.۲۷۸	۰.۲۳۶	۰.۲۱۵	۰.۲۶۴	۰.۴۱۷	۰.۵۰۷	۰.۵۶۵	۰.۶۱۲	۰.۲۴۰	۰.۲۷۴	۰.۳۴۱	۰.۳۹۲	۰.۳۷۳	۰.۳۴۱
۹	Avg	۰.۱۰۰	۰.۱۰۳	۰.۱۳۲	۰.۱۳۴	۰.۱۳۳	۰.۱۲۱	۰.۱۳۹	۰.۱۸۳	۰.۳۲۰	۰.۴۰۸	۰.۵۰۱	۰.۵۳۷	۰.۱۱۶	۰.۱۳۲	۰.۱۸۷	۰.۲۰۲	۰.۲۱۰	۰.۱۹۷
	Max	۰.۲۳۰	۰.۲۴۲	۰.۳۲۸	۰.۳۱۱	۰.۲۹۹	۰.۲۷۷	۰.۲۶۶	۰.۳۸۱	۰.۳۹۱	۰.۴۶۹	۰.۵۶۶	۰.۶۹۱	۰.۲۴۷	۰.۲۶۰	۰.۳۵۷	۰.۳۷۴	۰.۴۱۱	۰.۳۹۵
۱۲	Avg	۰.۱۷۴	۰.۱۷۳	۰.۱۷۰	۰.۱۷۲	۰.۱۶۲	۰.۱۷۱	۰.۲۰۶	۰.۲۶۴	۰.۳۵۴	۰.۴۶۴	۰.۵۳۰	۰.۵۹۰	۰.۱۸۹	۰.۲۰۹	۰.۲۳۰	۰.۲۵۱	۰.۲۴۸	۰.۲۶۵
	Max	۰.۲۴۰	۰.۲۶۸	۰.۲۶۵	۰.۲۵۲	۰.۲۶۸	۰.۲۴۳	۰.۳۸۱	۰.۳۹۰	۰.۴۸۵	۰.۵۸۸	۰.۶۲۵	۰.۶۹۱	۰.۲۹۴	۰.۳۱۸	۰.۳۴۳	۰.۳۵۳	۰.۳۷۵	۰.۳۶۰
۱۵	Avg	۰.۱۹۶	۰.۱۹۰	۰.۲۰۱	۰.۲۲۸	۰.۲۲۷	۰.۲۰۵	۰.۲۱۳	۰.۲۶۱	۰.۳۴۵	۰.۴۲۸	۰.۴۹۷	۰.۵۳۲	۰.۲۰۴	۰.۲۲۰	۰.۲۵۴	۰.۲۹۸	۰.۳۱۲	۰.۲۹۶
	Max	۰.۳۵۸	۰.۳۶۵	۰.۳۷۰	۰.۳۶۸	۰.۳۸۲	۰.۳۶۷	۰.۳۲۰	۰.۳۶۴	۰.۴۴۰	۰.۵۲۰	۰.۶۰۲	۰.۶۱۰	۰.۳۳۸	۰.۳۶۴	۰.۴۰۲	۰.۴۳۱	۰.۴۶۷	۰.۴۵۸
۱۸	Avg	۰.۲۱۹	۰.۲۲۸	۰.۲۴۱	۰.۲۵۳	۰.۲۴۸	۰.۲۴۱	۰.۲۲۱	۰.۲۷۱	۰.۳۵۷	۰.۴۱۹	۰.۵۱۴	۰.۵۶۳	۰.۲۲۰	۰.۲۴۸	۰.۲۸۸	۰.۳۱۵	۰.۳۲۵	۰.۳۲۸
	Max	۰.۲۵۵	۰.۲۶۸	۰.۲۸۶	۰.۲۸۳	۰.۲۹۸	۰.۲۷۷	۰.۳۱۲	۰.۳۲۹	۰.۴۴۴	۰.۵۸۳	۰.۶۳۹	۰.۶۹۲	۰.۲۸۱	۰.۲۹۵	۰.۳۴۸	۰.۳۸۱	۰.۴۰۶	۰.۳۹۶
۲۱	Avg	۰.۲۴۴	۰.۲۶۰	۰.۲۵۵	۰.۲۸۹	۰.۲۶۳	۰.۲۶۱	۰.۲۸۳	۰.۳۱۵	۰.۳۶۷	۰.۴۷۳	۰.۵۰۱	۰.۵۳۶	۰.۲۶۲	۰.۲۸۵	۰.۳۰۱	۰.۳۵۹	۰.۳۴۵	۰.۳۵۱
	Max	۰.۴۸۶	۰.۴۹۴	۰.۴۹۵	۰.۴۹۰	۰.۴۸۹	۰.۴۵۶	۰.۴۸۹	۰.۳۶۶	۰.۴۲۶	۰.۵۴۹	۰.۵۷۱	۰.۶۱۵	۰.۴۸۷	۰.۴۰۷	۰.۴۵۸	۰.۵۱۸	۰.۵۲۷	۰.۵۲۴
۲۴	Avg	۰.۲۰۹	۰.۲۹۹	۰.۳۱۱	۰.۳۳۲	۰.۳۱۲	۰.۲۸۱	۰.۲۹۳	۰.۳۴۳	۰.۴۱۲	۰.۴۶۹	۰.۵۳۶	۰.۵۸۸	۰.۳۰۱	۰.۳۱۹	۰.۳۵۴	۰.۳۸۹	۰.۳۹۴	۰.۳۸۰
	Max	۰.۴۱۳	۰.۳۹۸	۰.۴۰۰	۰.۳۹۲	۰.۳۹۱	۰.۳۶۶	۰.۳۵۵	۰.۴۱۰	۰.۴۷۶	۰.۵۷۴	۰.۵۹۳	۰.۶۴۹	۰.۳۸۲	۰.۴۰۴	۰.۴۳۵	۰.۴۶۶	۰.۴۷۱	۰.۴۶۸
رفتار میانگین		۰.۱۷۲	۰.۱۷۷	۰.۱۸۸	۰.۲۰۱	۰.۱۹۳	۰.۱۸۳	۰.۱۹۴	۰.۲۴۲	۰.۳۳۵	۰.۴۱۹	۰.۴۹۸	۰.۵۵۴	۰.۱۸۱	۰.۲۰۲	۰.۲۳۶	۰.۲۶۴	۰.۲۷۰	۰.۲۶۶
بهترین رفتار		۰.۴۸۶	۰.۴۹۴	۰.۴۹۵	۰.۴۹۰	۰.۴۸۹	۰.۴۵۶	۰.۴۸۹	۰.۴۱۰	۰.۴۸۵	۰.۵۸۸	۰.۶۵۶	۰.۶۹۲	۰.۴۸۷	۰.۴۰۷	۰.۴۵۸	۰.۵۱۸	۰.۵۲۷	۰.۵۲۴
رتبه													۶	۵	۴	۳	۱	۲	

جدول (۵): مقایسه مدل انتشار SC-B با احتمالات تأثیر متفاوت در مجموعه داده Alpha

معیار		دقت						فراخوانی						امتیاز اِف					
#کاربر	شاخص	SC-B	SC-B (P1)	SC-B (P2)	SC-B (P3)	SC-B (P4)	SC-B (P5)	SC-B	SC-B (P1)	SC-B (P2)	SC-B (P3)	SC-B (P4)	SC-B (P5)	SC-B	SC-B (P1)	SC-B (P2)	SC-B (P3)	SC-B (P4)	SC-B (P5)
۳	Avg	۰.۰۸۹	۰.۰۴۳	۰.۰۵۹	۰.۰۵۳	۰.۰۷۳	۰.۰۶۴	۰.۱۲۲	۰.۱۱۳	۰.۲۵۷	۰.۳۰۸	۰.۵۲۸	۰.۶۱۴	۰.۱۰۳	۰.۰۶۲	۰.۰۹۶	۰.۰۹۰	۰.۱۲۸	۰.۱۱۶
	Max	۰.۱۲۰	۰.۱۰۰	۰.۱۰۲	۰.۱۳۹	۰.۱۷۱	۰.۱۴۱	۰.۲۷۴	۰.۲۵۰	۰.۳۶۸	۰.۴۷۴	۰.۶۹۴	۰.۸۶۷	۰.۱۶۷	۰.۱۴۳	۰.۱۶۰	۰.۲۱۵	۰.۲۷۴	۰.۲۴۳
۶	Avg	۰.۱۰۲	۰.۱۳۸	۰.۱۳۷	۰.۱۴۵	۰.۱۳۲	۰.۱۴۰	۰.۱۳۵	۰.۲۹۱	۰.۴۱۳	۰.۵۷۷	۰.۶۴۴	۰.۷۴۹	۰.۱۱۶	۰.۱۸۷	۰.۲۰۶	۰.۲۲۲	۰.۲۱۹	۰.۲۳۶
	Max	۰.۲۵۷	۰.۲۱۰	۰.۲۱۷	۰.۲۰۶	۰.۲۰۸	۰.۱۸۷	۰.۳۰۰	۰.۴۳۱	۰.۵۷۸	۰.۷۱۴	۰.۷۶۵	۰.۸۶۳	۰.۲۷۷	۰.۲۸۲	۰.۳۱۶	۰.۳۲۰	۰.۳۲۷	۰.۳۰۷
۹	Avg	۰.۱۱۷	۰.۱۲۸	۰.۱۵۵	۰.۱۵۴	۰.۱۵۱	۰.۱۴۱	۰.۱۴۹	۰.۲۵۹	۰.۴۰۷	۰.۴۸۲	۰.۵۵۵	۰.۶۵۹	۰.۱۳۱	۰.۱۷۱	۰.۲۲۵	۰.۲۳۳	۰.۲۳۷	۰.۲۳۲
	Max	۰.۲۶۵	۰.۲۸۷	۰.۲۹۱	۰.۳۰۳	۰.۳۰۶	۰.۲۷۶	۰.۳۳۳	۰.۳۸۲	۰.۶۷۶	۰.۵۹۲	۰.۷۳۷	۰.۷۵۰	۰.۲۹۵	۰.۳۲۸	۰.۴۰۷	۰.۴۰۱	۰.۴۲۲	۰.۴۰۴
۱۲	Avg	۰.۲۲۴	۰.۲۰۴	۰.۲۲۲	۰.۲۱۶	۰.۲۱۲	۰.۲۰۹	۰.۲۱۵	۰.۳۴۱	۰.۴۵۸	۰.۵۱۷	۰.۵۷۹	۰.۶۷۱	۰.۲۱۹	۰.۲۵۵	۰.۲۹۹	۰.۳۰۵	۰.۳۱۰	۰.۳۱۹
	Max	۰.۳۵۷	۰.۳۶۹	۰.۴۰۳	۰.۳۷۳	۰.۳۶۵	۰.۳۳۴	۰.۳۱۰	۰.۴۲۹	۰.۵۷۱	۰.۶۱۹	۰.۶۷۶	۰.۷۶۲	۰.۳۳۲	۰.۳۹۷	۰.۴۷۳	۰.۴۶۵	۰.۴۷۴	۰.۴۶۴
۱۵	Avg	۰.۲۱۸	۰.۲۶۲	۰.۲۷۶	۰.۲۹۰	۰.۲۶۹	۰.۲۷۲	۰.۲۰۵	۰.۳۰۷	۰.۳۸۳	۰.۴۷۰	۰.۵۰۴	۰.۶۰۶	۰.۲۱۱	۰.۲۸۳	۰.۳۲۱	۰.۳۵۹	۰.۳۵۱	۰.۳۷۵
	Max	۰.۳۳۱	۰.۳۲۹	۰.۳۷۶	۰.۳۹۸	۰.۳۴۰	۰.۳۶۱	۰.۳۳۳	۰.۴۱۷	۰.۴۴۰	۰.۵۷۳	۰.۵۷۵	۰.۷۱۷	۰.۳۳۲	۰.۳۶۸	۰.۴۰۵	۰.۴۷۰	۰.۴۲۷	۰.۴۸۰
۱۸	Avg	۰.۱۹۷	۰.۲۶۸	۰.۲۶۳	۰.۲۷۳	۰.۲۷۵	۰.۲۵۸	۰.۲۶۱	۰.۳۶۱	۰.۴۳۲	۰.۴۹۷	۰.۵۷۸	۰.۶۳۳	۰.۲۲۵	۰.۳۰۸	۰.۳۲۷	۰.۳۵۲	۰.۳۷۳	۰.۳۶۷
	Max	۰.۲۹۶	۰.۴۷۱	۰.۴۴۶	۰.۳۸۹	۰.۴۴۴	۰.۴۲۲	۰.۳۳۰	۰.۴۱۴	۰.۴۹۶	۰.۵۸۴	۰.۶۶۳	۰.۶۹۲	۰.۳۱۲	۰.۴۴۱	۰.۴۷۰	۰.۴۶۷	۰.۵۲۲	۰.۵۲۴
۲۱	Avg	۰.۳۲۳	۰.۳۲۳	۰.۳۴۳	۰.۳۳۵	۰.۳۳۳	۰.۳۲۳	۰.۳۳۰	۰.۴۰۹	۰.۴۹۶	۰.۵۵۸	۰.۶۱۸	۰.۶۹۷	۰.۳۲۶	۰.۳۶۷	۰.۴۰۶	۰.۴۱۹	۰.۴۳۳	۰.۴۴۱
	Max	۰.۴۶۶	۰.۴۷۵	۰.۴۵۵	۰.۴۴۸	۰.۴۵۴	۰.۴۵۵	۰.۴۱۰	۰.۴۹۱	۰.۵۶۹	۰.۶۱۸	۰.۶۷۱	۰.۷۶۸	۰.۴۳۶	۰.۴۸۳	۰.۵۰۶	۰.۵۱۹	۰.۵۴۲	۰.۵۷۱
۲۴	Avg	۰.۲۳۰	۰.۳۶۴	۰.۳۶۶	۰.۳۷۴	۰.۳۶۷	۰.۳۶۳	۰.۲۸۹	۰.۳۷۹	۰.۴۲۵	۰.۴۹۸	۰.۵۴۳	۰.۶۳۰	۰.۳۰۸	۰.۳۷۱	۰.۳۹۳	۰.۴۲۷	۰.۴۳۸	۰.۴۶۱
	Max	۰.۴۳۸	۰.۴۹۴	۰.۵۱۳	۰.۴۷۶	۰.۴۹۴	۰.۴۸۱	۰.۳۴۹	۰.۵۱۲	۰.۴۶۴	۰.۵۸۶	۰.۵۹۸	۰.۷۰۰	۰.۳۸۸	۰.۵۰۳	۰.۴۸۷	۰.۵۲۵	۰.۵۴۱	۰.۵۷۰
رفتار میانگین		۰.۲۰۰	۰.۲۱۸	۰.۲۲۸	۰.۲۳۰	۰.۲۲۷	۰.۲۲۱	۰.۲۱۳	۰.۳۰۸	۰.۴۰۹	۰.۴۸۸	۰.۵۶۹	۰.۶۵۷	۰.۲۰۵	۰.۲۵۱	۰.۲۸۴	۰.۳۰۲	۰.۳۱۱	۰.۳۱۸
بهترین رفتار		۰.۴۶۶	۰.۴۹۴	۰.۵۱۳	۰.۴۷۶	۰.۴۹۴	۰.۴۸۱	۰.۴۱۰	۰.۵۱۲	۰.۴۷۶	۰.۷۱۴	۰.۷۶۵	۰.۸۶۷	۰.۴۳۶	۰.۵۰۳	۰.۵۰۶	۰.۵۲۵	۰.۵۴۲	۰.۵۷۱
رتبه													۶	۵	۴	۳	۲	۱	





شکل (۳): مقایسه کلی روش پیشنهادی با روش‌های پیشین بر اساس معیار ارزیابی میانگین امتیاز اف

Networks," *Int. J. Advance Soft Compu. Appl*, vol. 8, no. 3, pp. 137-159, 2016.

- [12] J. Yang, C. Yao, W. Ma, and G. Chen, "A study of the spreading scheme for viral marketing based on a complex network model," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 389, no. 4, pp. 859-870, 2010.
- [13] M. Alshahrani, Z. Fuxi, A. Sameh, S. Mekouar, and S. Huang, "Efficient Algorithms based on Centrality Measures for Identification of Top-K Influential Users in Social Networks," *Information Sciences*, 2020.
- [14] J. Cheriyan and G. Sajeed, "Spreadmax: a scalable cascading model for influence maximization in social networks," in *2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2018, pp. 1290-1296: IEEE.
- [15] C. Wang, Y. Liu, X. Gao, and G. Chen, "A Reinforcement Learning Model for Influence Maximization in Social Networks," in *International Conference on Database Systems for Advanced Applications*, 2021, pp. 701-709: Springer.
- [16] O. Gil-Or, "The potential of Facebook in creating commercial value for service companies," *Advances in Management*, vol. 3, no. 2, pp. 20-25, 2010.
- [17] Ö. OKAT and K. KADIRHAN, "ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED PROGRAMMATIC ADVERTISING," *New Communication Approaches in the Digitalized World*, p. 87, 2020.
- [18] P. Domingos and M. Richardson, "Mining the network value of customers," in *Proceedings of the seventh ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, 2001, pp. 57-66.
- [19] D. Kempe, J. Kleinberg, and É. Tardos, "Maximizing the spread of influence through a social network," in *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, 2003, pp. 137-146.
- [20] J. Zhang and P. S. Yu, "Information diffusion," in *Broad Learning Through Fusions*: Springer, 2019, pp. 315-349.
- [21] D. Kempe, J. Kleinberg, and É. Tardos, "Influential nodes in a diffusion model for social networks," in *International Colloquium on Automata, Languages, and Programming*, 2005, pp. 1127-1138: Springer.
- [22] Y. Ni, L. Xie, and Z.-Q. Liu, "Minimizing the expected complete influence time of a social network," *Information Sciences*, vol. 180, no. 13, pp. 2514-2527, 2010.
- [23] A. Goyal, F. Bonchi, and L. V. Lakshmanan, "Learning influence probabilities in social networks," in

مراجع

- [1] C. Aslay, L. V. Lakshmanan, W. Lu, and X. Xiao, "Influence maximization in online social networks," in *Proceedings of the eleventh ACM international conference on web search and data mining*, 2018, pp. 775-776.
- [2] Y. Li, W. Chen, Y. Wang, and Z.-L. Zhang, "Influence diffusion dynamics and influence maximization in social networks with friend and foe relationships," in *Proceedings of the sixth ACM international conference on Web search and data mining*, 2013, pp. 657-666.
- [3] N. Girdhar and K. Bharadwaj, "Signed social networks: a survey," in *International Conference on Advances in Computing and Data Sciences*, 2016, pp. 326-335: Springer.
- [4] M. Kaya, J. Kawash, S. Khoury, and M.-Y. Day, *Social network based big data analysis and applications*. Springer, 2018.
- [5] S. Peng, S. Yu, and P. Mueller, "Social networking big data: Opportunities, solutions, and challenges," vol. 86, ed: Elsevier, 2018, pp. 1456-1458.
- [6] M. Richardson and P. Domingos, "Mining knowledge-sharing sites for viral marketing," in *Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, 2002, pp. 61-70.
- [7] E. Even-Dar and A. Shapira, "A note on maximizing the spread of influence in social networks," *Information Processing Letters*, vol. 111, no. 4, pp. 184-187, 2011.
- [8] S. Kumar, A. Mallik, A. Khetarpal, and B. Panda, "Influence maximization in social networks using graph embedding and graph neural network," *Information Sciences*, 2022.
- [9] K. Senanayaka, "Impact of Social Network Advertising towards Consumer Purchase Intention (Special Reference to Apparel Products Advertising in Facebook)," Uva Wellassa University of Sri Lanka, 2017.
- [10] H. Wu, S. Wang, and H. Fang, "LP-UIT: A Multimodal Framework for Link Prediction in Social Networks," in *2021 IEEE 20th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*, 2021, pp. 742-749: IEEE.
- [11] M. H. Nadimi-Shahraki and M. Adami-Dehkordi, "K-indicators Method for Community Detection in Social

Proceedings of the third ACM international conference on Web search and data mining, 2010, pp. 241-250.

- [24] M. Hosseini-Pozveh, K. Zamanifar, and A. R. Naghsh-Nilchi, "Assessing information diffusion models for influence maximization in signed social networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 119, pp. 476-490, 2019.
- [25] S. Ahmed and C. Ezeife, "Discovering influential nodes from trust network," in *Proceedings of the 28th annual acm symposium on applied computing*, 2013, pp. 121-128.
- [26] S. Kumar, B. Hooi, D. Makhija, M. Kumar, C. Faloutsos, and V. Subrahmanian, "Rev2: Fraudulent user prediction in rating platforms," in *Proceedings of the Eleventh ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, 2018, pp. 333-341.
- [27] S. Kumar, F. Spezzano, V. Subrahmanian, and C. Faloutsos, "Edge weight prediction in weighted signed networks," in *2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining (ICDM)*, 2016, pp. 221-230: IEEE.





Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA)

Volume 1, Issue 3, Autumn 2023

Papers List

<u>Number</u>	<u>Paper title/Authors</u>	<u>Page</u>
1	Highly Energy-Efficient and Small-Area Single-Bit Approximate GDI-Based Subtractor for Dividers' Implementation Fateme Pooladi, Farshad Pesaran, Nabiollah Shiri	1
2	An intelligent computing architecture in the Internet of Medical Things to reduce the delay of the continuous monitoring system of patients with low mobility and special patients Reza ariana, mohamadreza majma, somayyeh jafarali jassbi	13
3	Face Detection based on Semantic Model for Mobile Banking Leili Nosratii, Amir Masoud Bidgoli, 3hamid haj seied javadi	24
4	A non-disruptive multi-objective charging strategy for WRSN through multi-UAV deployment optimization using a meta-heuristic algorithm Payman Habibi, Goran Hassanifard, Abdulbaghi Ghaderzadeh, Arez Nosratpour	34
5	A method based on deep neural network optimized with Huffman algorithm and meta-heuristic algorithms for medical image compression and reconstruction Mohammad Hossein Khalifeh, Mehdi Taghizadeh, Mohammad Mehdi Ghanbarian, Jasem Jamali	48
6	Combined Estimating Influence Probabilities for an Influence Maximization Problem in Social Networks and Its Application in the Power Industry Sohameh Mohammadi, Mohammad H. Nadimi-Shahraki, Zahra Beheshti, Kamran Zamanifar	62



Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA) Editorial Board

Director-in-Charge	Hamed Agahi	Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran
Editor-in-Chief	Taher Niknam	Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
Internal Manager	Zahra Maghsoodzadeh	Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran
<u>Editorial Board</u>		
<i>Professor</i>	Taher Niknam	Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
<i>Professor</i>	Rahim Ghayour	Shiraz University, Shiraz, Iran
<i>Professor</i>	Habibollah Abiri	Shiraz University, Shiraz, Iran
<i>Professor</i>	Hamid Khaloozadeh	K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran
<i>Professor</i>	Asghar Keshtkar	Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
<i>Professor</i>	Mohammad Bagher Menhaj	Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
<i>Professor</i>	Mohammad Naser Moghadasi	Islamic Azad University, S&R Branch, Tehran, Iran
<i>Professor</i>	Hasan Tavakoli	Baqiyatollah University of Medical Sciences, Tehran, Iran
<i>Professor</i>	Seyedebrahim Afjeii	Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
<i>Associate Professor</i>	Hamed Agahi	Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran
<i>Associate Professor</i>	Ahmad Fakharian	Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran
<i>Associate Professor</i>	Amir-Masud Eftekhari-Moghadam	Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran
<i>Associate Professor</i>	Majid Ebnali	Shahrekord University
<i>Associate Professor</i>	Mohammad Sadegh Javadi Estahbanati	Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran



Islamic Azad University , Shiraz Branch
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis



نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها

Journal of Circuits, Data & Systems Analysis

